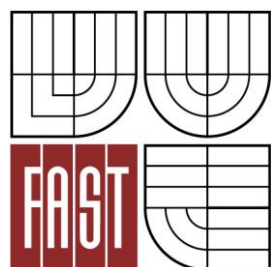




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# MOŽNOSTI VYUŽITÍ RECYKLOVANÉHO BETONU JAKO NÁHRADY DROBNÉHO KAMENIVA V CEMENTOVÝCH POTĚRECH

POSSIBILITIES OF USING RECYCLED CONCRETE AS FINE AGGREGATE REPLACEMENT IN CEMENT  
SCREEDS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Iveta Nováková

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. ADAM HUBÁČEK, Ph.D.



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Iveta Nováková
<b>Název</b>	Možnosti využití recyklovaného betonu jako náhrady drobného kameniva v cementových potěrech
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Adam Hubáček, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2011
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Časopis beton TKS

ČSN EN 13 813 Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky

ČSN EN 744505 Podlahy - Společná ustanovení

Internetové zdroje

Sborníky z českých a mezinárodních konferencí

České a zahraniční časopisy

## **Zásady pro vypracování**

Celosvětový rozvoj a nárůst průmyslové výroby s sebou přináší kromě výroby nových výrobků, staveb a dalšího také zvýšenou produkci průmyslových odpadních materiálů. Mezi tyto odpadní materiály patří také betonový recyklát vznikající při sanacích a asanacích betonových konstrukcí.

Cílem bakalářské práce bude shrnutí možností využití drobné frakce betonového recyklátu, jako částečné nebo celkové náhrady drobného kameniva v cementových potěrech. Tento druh materiálu nachází v poslední době stále větší uplatnění ve stavební praxi. Sledována bude možnost využití betonového recyklátu pro návrh a výrobu zejména samozhutnitelných (samonivelačních) potěrových cementových materiálů.

Důraz bude kladen zejména na shrnutí těchto základních parametrů:

- Popis základních vlastností kameniva z recyklovaného betonu.
- Shrnutí poznatků o potěrových, rep. samonivelačních potěrových materiálech.
- Možnosti využití průmyslových odpadních materiálů (např. vysokopecní struska, elektrárenský popílek, jemně mletý vápenec, drobná frakce recyklovaného betonu) pro výrobu cementových potěrů.
- Vliv použití recyklovaného betonu na vlastnosti potěrových materiálů.
- Možnosti testování potěrových materiálů.

Část bakalářské práce bude zaměřena také na praktické ukázky výroby cementových potěrů s využitím druhotných odpadních surovin. Bude sledován zejména vliv těchto materiálů na základní vlastnosti potěrů.

Rozsah práce cca 40 stran.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Adam Hubáček, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá shrnutím poznatků týkajících se využitím recyklovaného betonu jako náhrady drobného kameniva v cementových potěrech. Důraz je kladen zejména na popis a studium vlastností samozhutnitelných cementových potěrů. Jsou zde popsány požadavky na jednotlivé vstupní suroviny a také jednotlivé zkušební metody pro testování potěrů. Část práce je věnována praktickým aplikacím, kdy bylo použito recyklované kamenivo jako částečná náhrada přírodního kameniva při výrobě tohoto druhu kompozitu na bázi cementu.

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with summary of knowledge about cement-based screed with partial replacement of natural aggregates by recycled aggregates. Special emphasis is given to describing and studying characteristics of cement-based flowscreed. In this study are described feedstocks with requirements which they must meet and test methods for testing properties of screeds. One part is also given to practical application of cement-based flowscreed with partial replacement of natural aggregates by recycled aggregates.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Recyklace, stavební odpad, recyklovaný beton, příměsi, jemně mletý vápenec, superplastifikační přísada, samozhutnitelný cementový potěr, konzistence, zpracovatelnost, tekutost, čerstvý potěr, ztvrdlý potěr.

## **KEYWORDS**

Recycling, demolition waste, recycled concrete, addition, limestone powder, superplasticizer, cement-based flowscreed, consistency, workability, flowability, fresh screed, hardened screed.

### **Bibliografická citace VŠKP**

NOVÁKOVÁ, Iveta. *Možnosti využití recyklovaného betonu jako náhrady drobného kameniva v cementových potěrech*. Brno, 2012. 66 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Adam Hubáček, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 19.5.2012

.....  
podpis autora

**Poděkování:**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na tvorbě této bakalářské práce a zejména pak vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Adamu Hubáčkovi, Ph.D., za vedení, poskytnuté rady a věnovaný čas při zpracování.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1	Cíle práce.....	1
<b>2</b>	<b>RECYKLACE.....</b>	<b>3</b>
2.1	Druhy recyklace lze rozdělit následovně [2] .....	3
2.2	Stavební a demoliční odpad (sut') .....	4
2.2.1	Charakteristika stavebního odpadu .....	5
2.3	Provozovny recyklace stavebního odpadu .....	6
2.3.1	Mobilní úpravny .....	6
2.3.2	Semimobilní úpravny.....	7
2.3.3	Stacionární úpravny .....	8
2.4	Recyklované kamenivo.....	9
2.4.1	Vlastnosti betonového recyklovaného kameniva [7] .....	10
2.4.2	Základní požadavky na vlastnosti recyklovaného kameniva dle platné legislativy .....	10
2.4.3	Využití recyklovaného kameniva .....	11
2.4.4	Cenové ohodnocení recyklovaného kameniva .....	14
<b>3</b>	<b>DRUHOTNÉ SUROVINY UŽÍVANÉ JAKO PŘÍMĚSI DO CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ.....</b>	<b>15</b>
3.1	Inertní nebo částečně inertní příměsi typu I.....	15
3.1.1	Jemně mletý vápenec .....	15
3.1.2	Filery .....	16
3.1.3	Mletý křemen .....	17
3.2	Aktivní příměsi typu II.....	17
3.2.1	Popílek .....	17
3.2.2	Křemičitý úlet (mikrosilika).....	19
3.2.3	Struska .....	19
<b>4</b>	<b>POTĚRY .....</b>	<b>22</b>
4.1	Charakteristika potěrových materiálů .....	23
4.1.1	Zavlhlý potěr .....	23
4.1.2	Litý potěr.....	23
4.2	Rozdělení potěrů dle pojiva.....	24
4.2.1	Cementové potěry.....	24
4.2.2	Anhydritové potěry.....	24
4.2.3	Potěr z hořečnaté maltoviny .....	24
4.2.4	Potěr z litého asfaltu .....	25
4.3	Klasifikace potěrů .....	25
4.3.1	Povinné normativní zkoušky .....	25
4.3.2	Volitelné normativní zkoušky .....	25
4.3.3	Značení potěrů dle charakteristických vlastností .....	26
4.4	Druhy potěrů dle způsobu aplikace .....	27



4.4.1	Spojený potěr .....	27
4.4.2	Potěr na oddělovací vrstvě .....	27
4.4.3	Plovoucí potěr .....	28
4.4.4	Plovoucí potěr pro vytápěnou podlahu .....	29
<b>4.5</b>	<b>Samonivelační cementový potěr.....</b>	<b>29</b>
<b>4.6</b>	<b>Materiály pro výrobu cementových samozhutnitelných potěrů.....</b>	<b>30</b>
4.6.1	Kamenivo.....	30
4.6.2	Cement.....	30
4.6.3	Voda .....	31
4.6.4	Příměsi.....	31
4.6.5	Přísady .....	31
4.6.6	Rozptýlená výtuz .....	31
<b>5</b>	<b>ZKOUŠKY PROVÁDĚNÉ NA SAMOZHUTNITELNÝCH CEMENTOVÝCH POTĚRECH .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1</b>	<b>Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty (ČSN EN 1015-6 ZMĚNA A1) [20] .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2</b>	<b>Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – část 2: Zkušební metody (ČSN EN 13454-2+A1) [21] .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3</b>	<b>Zkouška čerstvého potěru: Zkouška Mini V-trychtýřem (Mini V-funnel test).....</b>	<b>33</b>
<b>5.4</b>	<b>Zkouška čerstvého potěru: Zkouška konzistence pomocí Marshova kužele (Cone test) .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5</b>	<b>Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – část 2: Zkušební metody (ČSN EN 13454-2+A1) [21] .....</b>	<b>34</b>
<b>5.6</b>	<b>Zkušební metody potěrových materiálů - Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles (ČSN EN 13892-1) [22].....</b>	<b>35</b>
5.6.1	Míchání.....	35
5.6.2	Příprava a plnění forem.....	35
5.6.3	Ošetřování zkušebních těles na bázi cementu.....	35
<b>5.7</b>	<b>Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty (ČSN EN 1015-10 ZMĚNA A1) [23] .....</b>	<b>35</b>
<b>5.8</b>	<b>Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku (ČSN EN 13892-2) [24].....</b>	<b>36</b>
5.8.1	Zkouška pevnosti v tahu za ohybu.....	36
5.8.2	Zkouška pevnosti v tlaku .....	36
<b>5.9</b>	<b>Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Stanovení odolnosti proti obrušování metodou Böhme (ČSN EN 13892-3) [25].....</b>	<b>37</b>
	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>SAMOZHUTNITELNÝ CEMENTOVÝ POTĚR.....</b>	<b>39</b>
<b>6.1</b>	<b>Použité materiály.....</b>	<b>39</b>
<b>6.2</b>	<b>Návrh receptur SCP.....</b>	<b>40</b>

<b>7</b>	<b>ZKUŠEBNÍ VZORKY .....</b>	<b>44</b>
7.1	Metodika přípravy zkušebních těles .....	44
<b>8</b>	<b>VYHODNOCENÍ PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠKY .....</b>	<b>45</b>
8.1	Vyhodnocení zkoušek prováděných na čerstvém potěru .....	45
8.2	Vyhodnocení zkoušek prováděných na ztvrdlém potěru .....	47
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM ZDROJŮ .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>55</b>

# 1 ÚVOD

V současnosti se stále častěji užívá recyklace odpadu a znovuvyužití vzniklých produktů. Recyklace se ve stavebnictví využívá nejen z ekologického, ale také z ekonomického hlediska. Odpady ze stavebnictví nebo z jiných průmyslů mohou být dále použity jako sekundární suroviny s dobrými vlastnostmi. Využitím odpadů jako druhotné suroviny přispívá ke snížení množství skládek a tím i ke snížení znečištění životního prostředí. Z ekonomického hlediska jsou tyto suroviny cenově příznivější. Nevýhodou sekundárních surovin je nižší kvalita a horší vlastnosti v porovnání s přírodními (primárními) surovinami. Využitím vhodných korekčních látek, jako například příměsí a přísad, je možno docílit stejné nebo i lepší kvality finálního produktu.

Zvýšení kvality stavebních děl je docíleno zvolením kvalitnějších surovin a užitím nových technologií. Materiálové inženýrství se stále vyvíjí, s cílem usnadnit a urychlit provádění prací na staveništi. Za tímto účelem byl vyvinut i samozhutnitelný cementový potěr, který má oproti tradiční betonové mazanině schopnost se sám roztéct a tím usnadnit pokládku. Roznášecí vrstvy do podlah se provádějí v každé novostavbě ale i při rekonstrukcích stávajících objektů. Tradiční betonová mazanina má mnoho nedostatků, a proto je snaha vytvořit takový materiál, u kterého jsou tyto nedostatky eliminovány. Samozhutnitelný cementový potěr dosahuje oproti tradiční betonové mazanině mnohem lepší užitné vlastnosti, jako například vyšší pevnost v tahu za ohybu a v tlaku, lepší tepelnou vodivost a další. Jelikož SCP dosahuje vyšších pevností je možná náhrada přírodního kameniva betonovým recyklátem. Snaha vytvořit vhodnou samozhutnitelnou směs s použitím recyklovaného materiálu přináší mnoho pozitiv. Hlavní přínos samozhutnitelných cementových potěrů s částečnou náhradou kameniva recyklátem je využití odpadu a snížení pracnosti při provádění.

## 1.1 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je shrnutí dosavadních poznatků o recyklovaném kamenivu a jeho využití ve stavebnictví. Jsou zde popsány návrhy opatření, které mohou zvýšit kvalitu recyklátů, především betonového, a tím i rozšířit možnosti jeho využití jako kamenivo do betonu, respektive cementového potěru. Dále zde jsou shrnuty poznatky o potěrech, zejména na bázi cementu. Potěry jsou zde rozděleny dle různých hledisek a popsány jejich základní

charakteristické vlastnosti. Hlavní důraz je kladen na samozhutnitelné cementové potěry, vstupní suroviny pro jejich výrobu a vlastnosti, kterými jsou charakterizovány.

V neposlední řadě bude v rámci experimentální části navržen a odzkoušen samozhutnitelný cementový potěr s částečnou náhradou kameniva betonovým recyklátem, který by měl dosahovat srovnatelných vlastností jako v současné době používané samozhutnitelné cementové směsi. U směsi bude požadována dobrá zpracovatelnost a docílení samozhutnitelnosti směsi bez segregace a rozměšování. Dále bude dle dosažených výsledků stanoveno maximální množství náhrady kameniva betonovým recyklátem a posouzeny kladné a záporné vlivy recyklátu na směs SCP. Pro experimentální část je využit betonový recyklát frakce 0 – 4 mm, který se v současné době netřídí, a proto bude nastíněno řešení ve formě unifikace tříděných frakcí.

## 2 RECYKLACE

Recyklace (z anglického slova recycling = recirkulace, vrácení zpět do procesu) znamená znovuvyužití, znovuvvedení do cyklu. Přesný význam slova recyklace znamená znovu uvedení vzniklého odpadu do stejného systému, ve kterém vznikl. Recyklaci lze považovat za strategii, která využívá vzniklý odpad, jak v procesu ve kterém vznikl, tak v jiných průmyslových oblastech a technologiích. Využitím odpadů jsou šetřeny přírodní zdroje a je snižováno znečišťování životního prostředí nadměrným ukládáním odpadu. Druhotné suroviny vzniklé jednoduchou úpravou odpadu jsou často finančně přijatelnější než primární suroviny. V případě absolutního nedostatku přírodních surovin může být recyklace řešením.

Vzrůstající objem odpadů všeho druhu je doprovodným jevem ekonomicky rozvinuté společnosti a současně jedním z problémů ochrany životního prostředí. Řešení založené na principech dlouhodobě udržitelného rozvoje leží jak v oblasti normativní regulace (legislativa), tak i v oblasti technické i ekonomické (stimulace k recyklaci odpadů). V souladu se státní politikou životního prostředí ČR 2004 – 2010 to kromě jiného konkrétně znamená také maximálně hospodárné využívání neobnovitelných zdrojů, jako jsou např. nerostné suroviny [1].

Pomocí různých průzkumů a statistik bylo zjištěno, že z celkové produkce odpadu tvoří 22 až 25% stavební a demoliční odpad. Tento fakt přispěl ke vzniku Asociace pro rozvoj recyklace stavebních materiálů (ARSM) založené v roce 1995.

### 2.1 DRUHY RECYKLACE LZE ROZDĚLIT NÁSLEDOVNĚ [2]

1) **Primární recyklace** se uskutečňuje v uzavřeném technologickém cyklu. Odpady vznikající ve výrobním procesu se vrací zpět do výrobního procesu buď neupravené, anebo jednoduše upravené. Další možností je výroba jiného výrobku ze vzniklého odpadu. Příklady z výroby stavebních hmot: zlomky cihel se rozdrtí a prodávají se jako antuka, nebo se používají jako ostřívo do suroviny; odprašky v cementárně se používají zpět jako příměs do suroviny; cementový kal a kamenivo ze zbytků čerstvého betonu se vrací zpět do míchačky k výrobě nového čerstvého betonu.

2) **Sekundární recyklace** se zaměřuje na využití odpadů z jiných oblastí ekonomické aktivity. Dochází ke dvěma efektům ochrany životního prostředí. Za prvé není třeba zabírat

půdu pro skládky odpadů, které devastují krajinu, a může při tom vzniknout potencionální nebezpečí kontaminace spodních vod. Za druhé se šetří přírodní surovina, snižuje se objem těžby a s ní spojený odpad z odvalů a změny reliéfu krajiny. Ve stavebním průmyslu se využívají energetické odpady (popílek, škvára), odpady z hutí (struska), z chemického průmyslu (odpadní sírany) a jiné. Tyto materiály nacházejí využití např. v betonářské technologii, při výrobě samozhutnitelného betonu a podlahových potěrů.

3) **Terciární recyklace** se uplatňuje desítky let při zpracování kovů, neboť vedle energetických úspor přináší i úspory rudy. Dožívají nejen stroje a kovové výrobky, ale také různé obaly (sklo, plasty, papír) využitelné pro výrobu nových výrobků stejného nebo podobného typu. Při výrobě skla ze skelných střepů se uspoří  $8 \text{ MJ.kg}^{-1}$  energie, 0,2 kg sody, 0,1 kg upraveného písku. Využitím sběrového papíru se ušetří asi 27% energie ( $5,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) a  $0,83 \text{ m}^3$  dřeva na 1 t papíru. Recyklací některých plastů se ušetří až 90% energie (asi  $41 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ). Do této skupiny patří i recyklace stavebního odpadu, která se v ČR začala provádět počátkem 90. let minulého století.

## 2.2 STAVEBNÍ A DEMOLIČNÍ ODPAD (SUŤ)

Stavební odpad vzniká při výstavbě převážně ve formě vytěžené zeminy, při rekonstrukci a demolici stavebních děl ve formě betonových zlomků, cihelné suti, asphaltových zlomků ale i dřeva, plastů a jiných materiálů. Z ekologického hlediska není většina stavebního materiálu nebezpečná pro své okolí, ve větší míře neobsahuje škodlivé ani toxické látky. Největší problém tvoří jejich velký objem, který zabírá prostor na běžných skládkách komunálního odpadu. Od 80. let lze pozorovat vzrůstající tendenci zpracovávání a znovuvyužívání odpadních materiálů vlivem ekologických opatření, nedostatku skládkových prostor a zvyšování cen přírodních surovin. Počátkem 90. let začíná recyklace stavebního odpadu fungovat naplno, vzniká mnoho firem se zaměřením na třídění a recyklaci stavebního a demoličního odpadu. Výsledky průzkumu provedeného u nás v roce 2000 uvádějí hodnotu  $178,4 \text{ kg}$  recyklovaného stavebního odpadu (bez zeminy) / osobu, což je zhruba 10% z celkového objemu stavebního a demoličního odpadu. V EU je tato hodnota  $750 \text{ kg/ os}$  z celkového množství stavebního odpadu (bez zeminy). Tato čísla ukazují, jak moc ČR zaostává za zbytkem Evropy. V současnosti se recyklace stavebního odpadu zvýšila na cca 23%, což je stále velice malé procento recyklace v porovnání například s Holandskem, kde je 98,1% stavebního odpadu znovu využito. Nízká míra recyklace v ČR je způsobena

nedostatkem norem a směrnic, které hodnotí stavební odpad a dále dostatečným množstvím nerostných surovin. Ano, zásoby nerostných surovin nejsou nevyčerpatelné, ale v současnosti není nouze jak o těžené, tak drcené kamenivo, a proto není taková potřeba stavebních firem využívat recyklované kamenivo. Cena recyklovaného kameniva je nižší, ale vlastnosti jsou o něco horší, a proto stavebníci stále raději volí dražší, ale spolehlivější variantu, což je přírodní kamenivo. Odbyt těchto materiálů musí být z hlediska celospolečenských potřeb podpořen i správnou cenovou a daňovou politikou, zvýhodňující používání stavebních odpadů oproti využívání přírodních neobnovitelných zdrojů.

### **2.2.1 Charakteristika stavebního odpadu**

Jedná se o inertní, hygienicky nezávadný odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám [3].

Vlastnosti stavebního odpadu jsou silně ovlivněny mírou roztřídění a složením odpadu. Pokud je požadována vyšší kvalita recyklovaného materiálu je vhodné stavební odpad třídit přímo na staveništi. Je to značně účinnější, a také levnější řešení. Recyklační centra stavebního odpadu vykupují levněji roztříděný materiál, jedná se hlavně o asfalt, beton, beton a cihly, cihly a vyztužený beton. Z recyklace musí být vyloučeny nebezpečné druhy odpadů, především s obsahem azbestu a dehtu.

Katalog odpadů ČR harmonizuje dělení odpadů s Evropským katalogem odpadů, přičemž stavební odpad je uveden jako samostatná skupina 17 00 00 - Stavební a demoliční odpad.

#### Jeho rozdělení je následující:

- 17 01 00 - beton, cihla, hrubá a jemná keramika a výrobky ze sádky a azbestu,
- 17 02 00 - dřevo, sklo, plasty,
- 17 03 00 - asfalt, dehet, výrobky z dehtu,
- 17 04 00 - kovy a slitiny kovů,
- 17 05 00 - zemina vytěžená,
- 17 06 00 - izolační materiály,
- 17 07 00 - směsný stavební a demoliční odpad.

#### Procentuelní roztrídění stavebního odpadu [4]:

- zemina z výkopu (nepojená zemina) 65-75%
- silniční drť (materiál z dopravních ploch bez zeminy, převážně asfalty a živice) 10-15%
- demoliční stavební minerální sut 5-20%
- odpady ze stavenišť 5-15%

Podíly jsou odlišné podle urbanizace a industrializace oblasti, proto je nutno uvedená čísla považovat pouze za orientační. Kvantifikace stavebního odpadu vychází z technologie výstavby, průměrného stáří demolovaných objektů a hustoty zástavby [4].

### **2.3 PROVOZOVNY RECYKLACE STAVEBNÍHO ODPADU**

Vlastní vybavení provozoven se skládá z několika strojů a prostor pro skladování materiálu. Problém může nastat při schvalování procesu investičního záměru. Provozovny musí splňovat mnoho přísných kritérií. Recyklační linky mají poměrně vysokou hlučnost, prašnost a dovoz respektive odvoz materiálu na kolových vozech je častý. Je tedy velice těžké najít místo pro zřízení takové linky. Nejvhodněji se jeví plochy v průmyslových zónách a na takových místech, která jsou ve větší vzdálenosti od obytné zástavby.

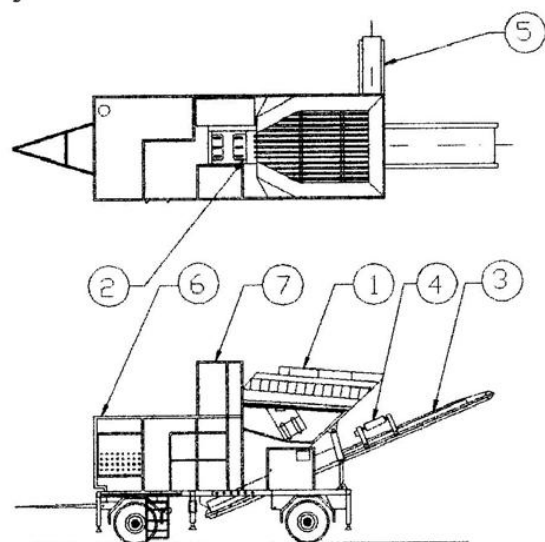
Provozovny se dělí podle stupně mobility na mobilní, semimobilní a stacionární. Toto rozdělení ovlivňuje kvalitu, rychlost recyklace a výsledný produkt. Pro snížení prašnosti se často stavební odpad kropí. Stacionární provozní linky mohou mít provoz mokrá nebo suchá. Hlavní princip recyklačních linek je podrcení odpadu a roztrídění na požadované frakce recyklovaného kameniva. Nedílnou součástí všech provozů je magnetický separátor.

#### **2.3.1 Mobilní úpravny**

Mobilní úpravny se používají pro přímé nasazení na staveništi, např. při rekonstrukci dálnic, u demolice průmyslových staveb nebo pro oblasti s malým výskytem stavební suti. Veškeré komponenty úpravny jsou osazeny na přívěsných nebo návěsných podvozcích. Tato zařízení jsou konstrukčně omezena možností přepravy na komunikacích a musí splňovat veškeré předpisy pro přepravu přívěsu respektive návěsu. Mobilní jednotka RESTA je schematicky uvedena na Obr. č. 1. Různá mobilní zařízení pro úpravu stavební suti pracují většinou podle stejného schématu - příjem materiálu, předběžné prosévání, rozměňování, magnetické odlučování feromagnetických kovů a podle požadavků trhu další třídění. V případě potřeby je možné linku rozpojit a drtič nebo třídič lze využít samostatně. Zařízení jsou energeticky



nezávislá. Nevýhody mobilních úpraven jsou: vyšší provozní náklady (transport, montáž, výměna personálu), omezený sortiment výrobků (frakcí), ztížená kontrola dodávané suti, vyšší náročnost na zajištění trvalého využití, mohou vzniknout i problémy s emisemi škodlivin do ovzduší a nadměrnou hlučností [5].

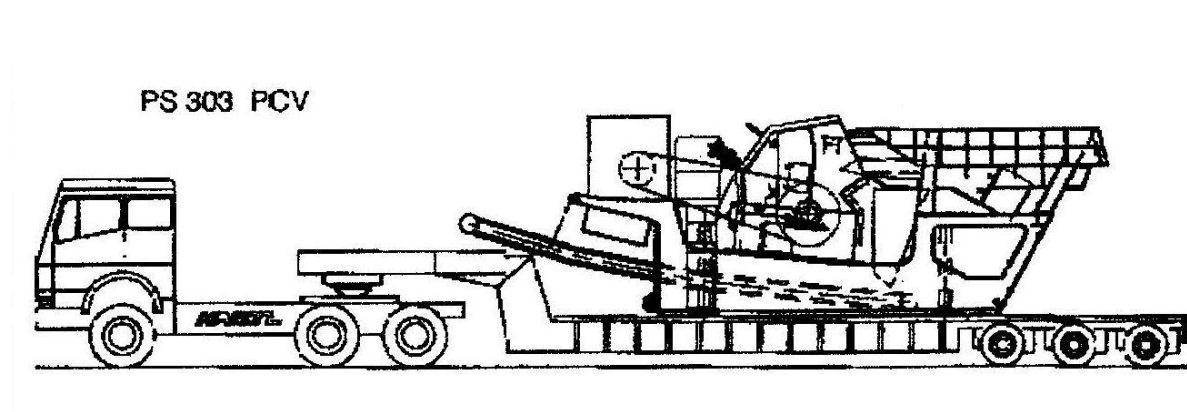


Obr. č. 1 Mobilní drticí jednotka RESTA:  
1 - násypka s roštovým předtřidičem, 2 - ústí čelistového drtiče, 3 - vynášecí dopravník recyklátu, 4 - magnetický separátor, 5 - vynášecí dopravník podsítného odpadu z předtřidiče, 6 - pohonná jednotka, 7 - kabina obsluhy.

### 2.3.2 Semimobilní úpravny

Semimobilní úpravny (polomobilní) sestávají z několika transportovatelných jednotek. Hlavní agregáty (předtřidič a drtič) jsou namontovány na ocelové konstrukci. Pro transport se jednotlivé díly demontují a pomocí jeřábu naloží na trajler. Schéma semimobilního drtiče HARTL je uvedeno na Obr. č. 2. Výhody i nevýhody jsou podobné jako u mobilních úpraven, pořizovací náklady jsou reálně nižší, odpadá zde údržba podvozku, ale musí se počítat s delší dobou montáže [5].

Obr. č. 2 Semimobilní odrazový drtič HARTL při transportu



Recyklace prováděná přímo na staveništi téměř úplně ruší náklady na odvoz stavební sutě a vytváří prakticky nový stavební materiál, který je možno ihned znovu využít. Dále se ušetří i za skládkovné. Recyklace přímo na staveništi s sebou bohužel nese i povinnosti jako je povolení recyklace v místě stavby, její zajištění co se týče prašnosti, hluku prostoru a využití vyrobeného recyklátu. Ne vždy je tedy využít všechnen vzniklý materiál a je potřeba jej odvést a využít jinde; to může být výhoda i nevýhoda.

### 2.3.3 Stacionární úpravny

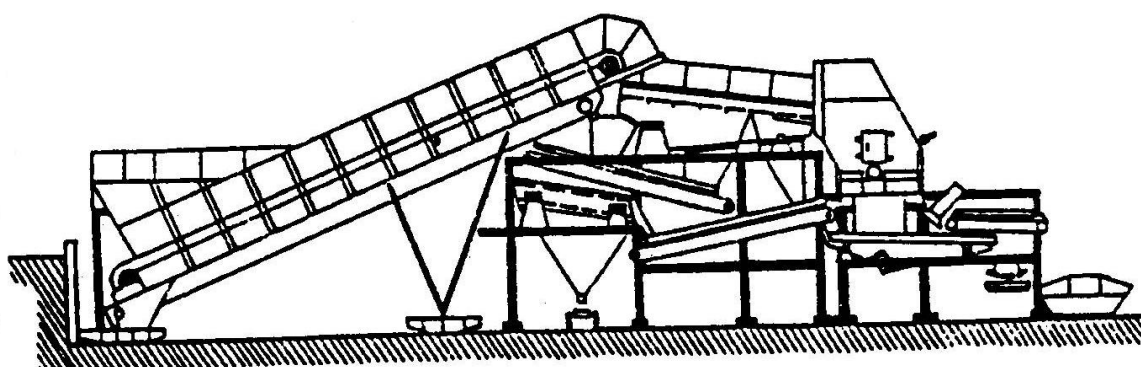
Stacionární úpravný (Obr. č. 3) Vlastní zařízení provozovny se skládá z prostoru pro příjem a evidenci materiálu. Váha pro nákladní vozidla může být například mostová stacionární nebo dynamická nápravová váha spojená s počítačem. Váha slouží nejen ke stanovení ceny za materiál ale i k průběžné kontrole celkového množství materiálu, které provozovnou projde. Další částí je skladový prostor, který běžně obsahuje kolový nakladač. Před vlastním drcením materiálu musí být vyseparováno železo pomocí magnetického separátoru. Hlavní částí je pak čelistový nebo odrazový drtič, ze kterého je materiál pomocí pásového dopravníku převezen do třídícího zařízení. Roztříděný materiál se ukládá do kójí podle druhu a frakce. Nezbytný je dostatečně vydatný zdroj užitkové vody pro snižování prašnosti v celém areálu úpravný. Pro docílení vyšší kvality produktu je možno do soustavy vkládat přídatná zařízení jako například separátor lehkých materiálů. Tento větrný protiproudý třídič unáší lehký materiál (dřevo, plasty atd.) mimo proud kvalitního recyklátu. Zvolením dvoufázového drcení se sníží opotřebení drtičů a zvýší se kvalita výsledných frakcí. Třídíče mohou být dvou nebo tři stupňové.

Nejčastější velikostní frakce při recyklaci stavební suti jsou:

- podsítné jemného síta (0 až 8 mm),
- podsítné hrubého síta (8 až 32 mm),
- nadsítné hrubého síta (32 až 63 mm nebo 32 až 80 mm).

Stacionární úpravny produkují nej kvalitnější recyklované kamenivo, jelikož zde probíhá pečlivější třídění materiálu. Je zřejmé, že například recyklované kamenivo pouze z betonové suti je kvalitnější a může mít tedy vyšší cenu než kamenivo ze směsi betonové a cihelné suti. Nevýhodou je však nerovnoměrný dovoz stavebního odpadu, který závisí na míře demolice v okolí recyklační linky. Tuto nevýhodu mnoho recyklačních linek řeší tím, že se zabývají i drcením přírodního kameniva a jeho následné třídění na požadované frakce.

Obr. č. 3 Schéma stacionární úpravny stavební suti



## 2.4 RECYKLOVANÉ KAMENIVO

Vhodnými postupy recyklace, zejména drcením a tříděním, je získáván nový produkt a to recyklované kamenivo. Recyklované kamenivo nedosahuje takových vlastností jako přírodní kamenivo, a proto nachází využití v místech se sníženými požadavky na kvalitu kameniva.

Při deklaraci recyklátu jako odpadu se na jedné straně na recyklát nevztahuje zákon č. 22/1997 Sb., na straně druhé má však odběratel recyklovaného kameniva povinnost mít udělený souhlas krajského úřadu k nakládání s odpady. V sousedním Rakousku se recyklát považuje za výrobek a takto je i deklarován.

Státní zdravotní ústav Praha dochází k závěru, že zkoušky produktu recyklačních linek ke zjištění absolutního obsahu škodlivin by nemusely být prováděny, protože se ve všech případech jedná o stabilizovaný (zpevněný) materiál [6].

#### **2.4.1 Vlastnosti betonového recyklovaného kameniva [7]**

Obecně lze říct, že betonový recyklát má horší vlastnosti než přírodní kamenivo. Tento fakt je dán obsahem zatvrdlého cementového tmele v recyklátu, který má zvýšenou pórovitost.

- téměř stejná měrná hmotnost jako přírodní kamenivo, ale objemová hmotnost nižší o 7-10 %
- sypná hmotnost asi o 15-18% nižší a mezerovitost o 10-15% vyšší, než přírodní kamenivo stejné zrnitosti
- vyšší nasákavost 4 – 12%, zvláště u drobné frakce < 4mm
- velmi dobrá soudržnost cementového tmele se zrny recyklátu, pokud je drcený beton navlhčen hodnoty soudržnosti cementového tmele s betonovým recyklátem dosahují až 8,8 MPa, se žulou 5,2 MPa, s ocelí jen 2,1 MPa
- nižší pevnost a modul pružnosti oproti přírodnímu kamenivu (např. žula má pevnost v tlaku 110-360 MPa, beton v rozmezí 15-210 MPa a modul pružnosti kameniva ze žuly dosahuje hodnot 27-68 GPa, kdežto beton 13-40 GPa)
- nestálé složení betonového recyklátu, a tím zvýšená možnost obsahu nečistot (dřevo, jíly, plasty, papír, atd.)

#### **2.4.2 Základní požadavky na vlastnosti recyklovaného kameniva dle platné legislativy**

##### 1. Požadavky na geometrické vlastnosti

- zrnitost
- tvar zrn hrubého kameniva (index plochosti a tvarový index)
- procentní podíl ostrohranných a oblých zrn
- obsah jemných částic

## 2. Požadavky na fyzikální vlastnosti

- odolnost proti drcení hrubého kameniva
- odolnost hrubého kameniva proti otěru
- objemová hmotnost zrn
- nasákavost

## 3. Trvanlivost

V případě vydání prohlášení o shodě musí výrobce recyklátu zajistit provedení počátečních zkoušek typu a dále řízení shody tak, aby zajistil shodu výrobku – recyklátu s normou a ní deklarované požadavky [8].

Recyklované kamenivo musí být podrobeno i zkoušce na obsah škodlivých látek, který se stanovuje z výluhu. Výluh vzniká kontaktem vzorku materiálu s 0,0001 molárním roztokem  $\text{CaCl}_2$  nebo  $\text{HNO}_3$ .

Pokud bude recyklát využit jako kamenivo do betonu, musí splňovat požadavky normy ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu. Velmi důležité je granulometrické hledisko, kde je nutné posuzovat odděleně vhodnost použití drobného recyklátu do 4 mm a hrubého recyklátu nad 4 mm [6]. V této normě nejsou uvedeny požadavky na recyklované kamenivo, ty jsou stanoveny ve změně normy ČSN EN 206-1 (Z3) Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, vydané k 1. 5. 2008.

Podle ČSN EN 206-1 (Z3) je recyklované kamenivo rozděleno do čtyř typů:

Typ 1: Drt' nebo písek vybraný drcením pouze betonu (betonová drt')

Typ 2: Drt' nebo písek vyrobený drcením stavební sutě

Typ 3: Drt' nebo písek vyrobený drcením zdiva (drcené zdivo)

Typ 4: Drt' nebo písek vyrobený drcením ze směsi odpadu (směsný recyklát)

### **2.4.3 Využití recyklovaného kameniva**

Využitelnost recyklovaného kameniva je poměrně vysoká. Obecně vzato se jedná o kamenivo s nižší kvalitou a je možno ho využít kdekolí. Nejběžnější užití je ale stále v těch oblastech

stavebnictví, kde nejsou kladeny vysoké požadavky na pevnost, chemickou skladbu a další vlastnosti kameniva.

V procesu recyklace ovšem platí, že výsledná kvalita a efektivnost celého procesu je přímo úměrná kvalitě demoličních a výkopových prací a třídění stavebního odpadu přímo v místě jeho vzniku. Kvalitu rovněž ovlivňuje i technologie zpracování tohoto odpadu [9].

### ***Recyklované kamenivo z betonové suti nebo směs betonové a cihelné suti***

Recyklované kamenivo z betonové suti nebo směs betonové a cihelné suti se často používá jako zásypový materiál. Jedná se o obsypy a zásypy inženýrských sítí jako náhražka tříděných štěrkopísků, dále podsypy parkovišť, silnic, zásypy předpolí mostů, podsypy betonových konstrukcí podlah objektů a hal jako náhražka štěrkodrtí, násypy zemních těles komunikací, drážních těles, protipovodňových hrází jako náhražka zeminy vytěžené ze zemníků [9]. Hrubé frakce betonového recyklátu lze použít jako kamenivo do betonu pokud splňují všechny požadavky předepsané normou ČSN EN 12 620 – Kamenivo do betonu.

Při drcení betonových zlomků vzniká téměř polovina méně vhodného drobného recyklovaného kameniva frakce 0-8 mm. V drobných a jemných podílech betonové drti se nachází větší obsah cementového tmele, který ulpí na zrnech kameniva při drcení. Tyto podíly pak mají větší pórovitost a tím i nasákavost. Pórovitost cementového tmele ovlivňuje použitý vodní součinitel, stupeň a hloubku karbonatace (etapa karbonatace), rozsah trhlin na rozhraní cementový tmel – povrch kameniva [8]. Z těchto důvodů se tato frakce nejčastěji používá pro stabilizaci podloží silnic a nově i do potěrových materiálů. Při použití do podloží silnic se pomocí dávkovače nasype v požadovaném množství na připravené zemní těleso a poté se s využitím půdní frézy mísí a homogenizuje se zeminou. Po promísení se vrstva srovná pomocí grejdrů nebo válců. Do potěrů se používá kamenivo s maximálním zrnem 8 mm respektive 4 mm. Pro samozhutnitelné potěry je důležitý vysoký obsah jemných částic, a drobná frakce recyklovaného kameniva jich běžně obsahuje okolo 20 %, což je podstatně více než těžená frakce 0-4 mm. Tento zvýšený obsah jemných částic v recyklátu frakce 0-4 mm se podílí na tvorbě cementového tmele a tím zvyšuje tekutost cementových samozhutnitelných potěrů.

### ***Recyklované kamenivo z cihelné suti***

Využití cihelného recyklátu má dlouholetou tradici. Když je tento recyklát produkován v jemné frakci čistě jen z cihel bez malty, používá se jako antuka na sportovní hřiště. Pokud se jedná o recyklát z bouraného cihelného zdiva, obsahuje i maltu a to snižuje jeho kvalitu. Recyklát z cihelné suti se třídí do frakcí a může se využít například pro výrobu cihlobetonu. Cihlobeton je možno používat jako výplňové zdivo ve skupině monolitických konstrukcí, dále pro výrobu prefabrikovaných prvků k přípravě vibrolisovaných tvárnic nebo stěnových prvků, jejichž slisování by předem eliminovalo možné dotvarování konstrukce pod zatížením vzhledem k nižší hodnotě statického modulu [27]. Drobná frakce 0-4 mm se využívá jako plnivo do lepících a stěrkových hmot, kde přispívá ke snížení součinitele tepelné vodivosti. Dále se využívá při stabilizaci nestmelených vrstev vozovek.

### ***Recyklované kamenivo z asfaltové suti***

Asfalt je materiál, který lze prakticky 100% recyklovat. V dopravním stavitelství se znovu používají materiály získané frézováním živičných vozovek. Po dlouhou dobu se asfaltový recykláž přidával do směsí vyráběných za horka v obalovnách. V posledním desetiletí se prosazuje tzv. recyklace za studena, kdy se recyklovaný materiál v mísících centrech mísí s emulzí a cementem nebo s asfaltovou pěnou [10]. Za horka vyráběné asfaltové směsi s přídavkem recyklátu se běžně užívají pro živičné povrchy pozemních komunikací všech tříd. Směsi vytvořené pomocí recyklace za studena jsou využívány na pozemní komunikace s nižším zatížením, například cyklostezky. S využitím nových technologií dosahují směsi vytvořené pomocí recyklace za studena vlastností srovnatelných s asfaltovou směsí vyrobenou za horka.

#### 2.4.4 Cenové ohodnocení recyklovaného kameniva

Tab. č. 1 Porovnání cen za uložení stavebního odpadu na skládky a využití pro recyklaci v recyklačních centrech.

Druh odpadu	Uložení [Kč/t]	
	skládka	recyklační centrum
cihly	309	168
beton	350	120
asfalt	500	148
stavební suť	430	145

Tyto hodnoty prokazují, že uložení odpadu do recyklačních center je zhruba o 30 % levnější než uložení stavebního odpadu na skládku. Rozhodující ale bude vzdálenost těchto dvou provozoven od místa demolice. Recyklačních linek není tolik jako skládek pro uložení stavebního odpadu, a proto asi mnoho stavbařů volí uložení na skládky.

Tab. č. 2 Porovnání cen přírodního kameniva a recyklovaného kameniva

Frakce [mm]	Kamenivo [Kč/t]		Suť [Kč/t]	Betonový recyklát [Kč/t]	Asfaltový recyklát [Kč/t]
	Těžené	Drcené			
0-4	228	134	70	95	124
4-8	341	341			
8-16	346	296	-	111	-
16-32	357	261	76		

Pozn.: Ceny kameniva jak recyklovaného tak přírodního byly určeny z průměrných cen na webových stránkách lomů a recyklačních center. Ceny přírodního kameniva jsou převážně z lomů společnosti CEMEX platných k 24. 4. 2012.

Těžené a drcené kamenivo je dodáváno v ustálených frakcích. Recyklační centra nemají jednotný systém, a proto je těžké stanovit přesnou cenu jednotlivých frakcí a ceny jsou orientační. I přesto je patrné, že cena recyklátu je výrazně nižší a to především u hrubších frakcí.



### **3 DRUHOTNÉ SUROVINY UŽÍVANÉ JAKO PŘÍMĚSI DO CEMENTOVÝCH KOMPOZITŮ**

Jsou to většinou práškové látky přidávané do čerstvého cementového kompozitu za účelem zlepšení některých vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností. Podle ČSN EN 206-1 (Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda) se dělí na dva typy: inertní příměsi – typ I a pucolány nebo latentně hydraulické látky – typ II. Má-li se vzít v úvahu vliv množství příměsí a jejich vliv na cementový kompozit, musí se prokázat jejich vhodnost [11].

#### **3.1 INERTNÍ NEBO ČÁSTEČNĚ INERTNÍ PŘÍMĚSI TYPU I**

Jedná se o mleté horniny nebo přírodní moučky s velikostí zrna do 0,125 mm, respektive do 0,25 mm. Inertní příměsi se vůbec nebo jen částečně účastní procesu hydratace. Tyto přísady se užívají pro zvýšení hutnosti cementového tmele a zlepšení reologických vlastností samozhutnitelných směsí. Čára zrnitosti, tvar a nasákavost inertních příměsí může ovlivnit spotřebu záměsové vody nebo citlivost čerstvého cementového kompozitu na množství vody.

##### **3.1.1 Jemně mletý vápenec**

Vápenec je hornina typu chemického sedimentu, stejně jako rohovec a dolomit. Tyto sedimenty se ukládají vysrážením ze slaných roztoků v mořích nebo na pevnině ve slaných jezerech v oblasti s aridním klimatem. Z hlediska skladby, s ohledem na největší zastoupení, se jedná o uhličitán vápenatý -  $\text{CaCO}_3$  [12].

Vápenec má objemovou hmotnost přibližně  $2680 \text{ kg/m}^3$  a pevnost v tlaku 121 až  $153 \text{ N/mm}^2$ . Hornina se využívá pro výrobu vápna, které po vypálení vápence obsahuje více jak 85%  $\text{CaO}$  +  $\text{MgO}$ . Mletím základní horniny se získá vápencová moučka tvořící stabilizační pojivo do asfaltů a příměs s plastifikačními účinky do cementových kompozitů [12].

##### ***Využití jemně mletého vápence***

Tato surovina vzniká jako druhotný produkt při mletí vápence. Využití jemně mletého vápence je široké. Využívá se k odsiřování kouřových plynů tepelných elektráren, jako příměs do betonu a potěrů, jako filer do plastů, hnojivo pro úpravu pH půdy a v mnoho jiných průmyslových oblastech. Vysoká poptávka po tomto sekundárním produktu vápenek a cementáren přispěla k záměrné produkci tohoto materiálu. Ještě před nástupem

superplatifikátorů byl jemně mletý vápenec používán za účelem plastifikace a utěsnění čerstvé betonové směsi. V současnosti se užívá pro zvýšení obsahu jemných částic ve směsi, čímž se zvýší plastičnost, hutnost, vodotěsnost a povrchová kvalita výrobků z cementových kompozitů.

### ***Chemické složení***

Chemické složení jemně mletého vápence je uvedeno v Tab. č. 3. Na jemnosti mletí závisí účinnost příměsi. Se stoupajícím měrným povrchem jemně mletého vápence se zvyšuje nasákavost a tím i vodní součinitel, což není příliš pozitivní. Na druhou stranu jemně mletý vápenec může při velice jemném mletí vykazovat hydraulické vlastnosti. Mikromletý vápenec tvoří s C3A sloučeninu  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (tzv. karbonátový komplex), která je stabilnější než hydráty trikalciualuminátu. Objemová hmotnost je v rozmezí 2600- 2800 kg/m<sup>3</sup>. Měrný povrch závisí na jemnosti mletí, ale běžně se pohybuje od 350- 500 m<sup>2</sup>/kg.

Tab. č. 3 Chemické složení vápence

<b>Chemické složení</b>		<b>Obsah [%]</b>
CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	min.	93,0
z toho MgCO <sub>3</sub>	max.	6,0
SiO <sub>2</sub>	max.	4,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max.	3,5
z toho Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max.	2,0
MnO	max.	0,02
SO <sub>3</sub>	max.	0,3
Vlhkost	max.	1,0

Požadavky na mleté vápence jsou uvedeny v ČSN 72 1220.

### **3.1.2 Filery**

Jedná se o odprašky při těžbě drceného kameniva. Za filery se považuje takové kamenivo, jehož většina (70 %) zrn propadne sítem 0,063mm. Používají se především pro zlepšení křivky zrnitosti kamenné kostry betonu, a tím i pro zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu (např. čerpatelnosti) a pro jeho lepší zhutnění. Větší hutností ztvrdlého betonu lze docílit vyšší odolnosti betonu vůči vlivům prostředí (např. vodotěsnost) [13].

Jemné podíly kameniva zvyšují přídržnost betonu k podkladu (např. ke starému betonu), zlepšují soudržnost čerstvého betonu a používají se při výrobě samozhutnitelných betonů a

cementových potěrů. Bez použití plastifikačních přísad ale vyžadují zvýšené množství vody, což částečně snižuje pevnosti betonu a zvyšuje jeho náchylnost k většímu smrštění. Při volbě množství fileru v betonu se doporučuje zohlednit maximální použité zrno kameniva [13].

### **3.1.3 Mletý křemen**

Jedná se o tzv. mikromleté křemičité písky s vysokým obsahem  $\text{SiO}_2$  (až 99,2%), které tvoří významnou příměs do cementových kompozitů. Jsou vyráběny z těžných křemičitých písků jako jeden z dalších sortimentů výroby, která zahrnuje technické, filtrační a slévárenské písky. Hlavním produktem jsou sklářské písky.

Vysoký obsah  $\text{SiO}_2$  a mletí otevřené neokysličené struktury povrchu jednotlivých zrn napomáhají reakci s cementovými složkami, a tím zvyšují výsledné pevnosti betonu. Vhodným dávkováním lze zvýšit výslednou pevnost betonu o 10 až 20%. Podobně jako všechny jemné příměsi s převládající částí zrn pod hodnotu 0,09 mm tvoří doplňkovou složku samozhutnitelných betonů a cementových potěrů [12].

## **3.2 AKTIVNÍ PŘÍMĚSI TYPU II**

Jedná se o látky, které vykazují pucolánové nebo latentně hydraulické vlastnosti. Do této skupiny patří popílek, struska, mikrosilika a jiné. Hydraulická aktivita je schopnost látky tvrdnout ve vodním prostředí za normální teploty. Latentní hydraulická je schopnost látky reagovat s  $\text{Ca(OH)}_2$  za normální teploty a ve vodním prostředí tvrdnout. Pucolánové látky se vyznačují vysokým obsahem aktivního  $\text{SiO}_2$ . Podmínkou chemické reakce je alkalické prostředí vytvořené v roztoku i jinými chemickými sloučeninami, které nazýváme budiče hydraulicity. Ve svých technologických důsledcích je pucolanita i latentní hydraulická totožná, rozdíly jsou pouze v obsahu rozdílných minerálů [14].

### **3.2.1 Popílek**

Létavý popílek vzniká při spalování mletého uhlí a ve formě velmi jemného zrnitého prášku (cca 0,09 mm) je zachycován ve filtrech a odlučovačích z kouřových plynů. Jedná se kulovité částice tvořené převážně amorfním  $\text{SiO}_2$ . Složení popílku je závislé na chemickém a mineralogickém složení uhlí, na způsobu topení, nejvyšší teplotě v topeništi, chladnutí, aj. Nej kvalitnější popílek vzniká z černého uhlí, jelikož bývá méně znečištěn a zrna jsou přibližně stejně velká. Dále se používají i hnědouhelné a lignitové popílků, ty jsou ale

náchylnější na znečištění. Vlastnosti popílků musí vyhovovat požadavkům uvedeným v normě ČSN EN 450-1.

Pucolánový pojivý účinek se projeví po přidání CaO nebo portlandského cementu. Zrna popílku absorbují část  $\text{Ca}^{2+}$  iontů na svém povrchu, ale hned nereagují. Pucolánová aktivita se projeví až v delším časovém období, cca za 90 dní.

### ***Vliv popílku na vlastnosti betonu***

Popílek se zúčastňuje reakcí pomaleji než cement, a proto se snižují počáteční pevnosti betonu. Po delší době např. jednom roce, se již pevnosti vyrovnají díky pucolánové reakci, která probíhá pozvolně. Betony s obsahem popílku se vyznačují zvýšenou vodotěsností, trvanlivostí, odolností proti účinkům náporových vod a snížením objemových změn. Chemické složení popílků je uvedeno v Tab. č. 4.

Tab. č. 4 Chemické složení popílků:

Uhlí	černé
Topeniště	s tavnými komorami
Původ	české elektrárny
$\text{SiO}_2$	44 - 50 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22 - 26 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7 - 14 %
$\text{TiO}_2$	0,5 - 1 %
CaO	4 - 9 %
MgO	1 - 4 %
Ztráta žiháním	5 - 14 %

### ***Použití popílků***

Popílek obsahuje málo chemicky, resp. hydraulicky aktivních složek, a proto je jeho využití široké.

- jako aktivní plnivo při výrobě pórobetonu z popílku
- jako pucolánová příměs do betonu napomáhá snížení dávky cementu
- ve formě fileru (příměs typu I) zvyšuje obsah jemných částic a tím zmenšuje náchylnost k segregaci čerstvého betonu při dopravě a zpracování

- při betonáži masivních konstrukcí příznivě ovlivňuje proces tuhnutí a tvrdnutí včetně vývinu hydratačního tepla
- zvyšuje odolnost betonu v chemicky agresivním prostředí

### 3.2.2 Křemičitý úlet (mikrosilika)

Vzniká jako vedlejší produkt při výrobě ferosilicia nebo elementárního křemíku, který obsahuje 85 až 97 % amorfního  $\text{SiO}_2$ . Částice převážně o průměru pod 1  $\mu\text{m}$  mají měrný povrch až přes 20 000  $\text{m}^2/\text{kg}$ . Velmi jemným mletím vznikají mikročástice, které doplňují křivku zrnitosti v oblasti mikrometrů a vzniká tak dokonalá struktura cementového tmele. Pro snížení sypané hmotnosti a usnadnění transportu někteří výrobci úlety kompaktují, což poněkud zhoršuje jejich vlastnosti.

Mikrosilika má kyselý charakter a reaguje s hydroxidem vápenatým vznikajícím v průběhu hydratace cementu za tvorby CSH gelů a tím omezuje na minimum tvorbu krystalků portlanditu,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Vyšší obsah CSH gelů snižuje výrazně obsah pórů a vzniklá hutnější mikrostruktura zlepšuje adhezi pojivové pasty ke kamenivu, eventuálně k výztuži. Pro zvláště náročné vysokohodnotné betony se doporučuje přidávat sráženou mikrosiliku, která má měrný povrch až 40 000  $\text{m}^2/\text{kg}$  a vyznačuje se vysokou reaktivitou. Přísady vysokých složek (mikrosiliky, popílku, ketakaolinu) zabraňují obávané reakci alkálií s kamenivem a tvorbě výkvětů [15].

### 3.2.3 Struska

Výroba surového železa spočívá v redukčním tavení železné rudy spolu se struskotvornou přísadou, kterou je nejčastěji vápenec. Při tomto tavení vzniká nejen surové železo, ale také vysokopecní struska. Ta je lehčí než roztavené železo a tudíž se hromadí na povrchu železné taveniny. Struska izoluje surové železo od kyslíku, a tím zabraňuje jeho zpětné oxidaci a dále ho zbavuje nežádoucích příměsí, kterými jsou síra, fosfor, křemík a další. Podle složení rudy, druhu vyráběného železa, popela koksu a druhu struskotvorné přísady má vysokopecní struska různé chemické složení (viz. Tab. č. 5) a tím i vlastnosti. Nejcenější jsou u strusky její hydraulické vlastnosti, které jsou přímo závislé na jemnosti mletí a na chemickém složení strusky. Posuzuje se tzv. hydraulickým modulem nebo různými jinými empirickými vzorci. Hydraulický modul udává poměr mezi  $\text{CaO}$  a součtem  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Běžně se hydraulický modul pohybuje v rozmezí od 0,96 do 2,19. Struska sama o sobě nemá

dostatečné hydraulické vlastnosti, a proto se musí reakce vyvolat přidavkem  $\text{Ca(OH)}_2$  z vápna či cementu [12].

Tab. č. 5 Chemické složení hlavních typů vysokopecních strusek

Železo	hematitové	slévarenské	Thomasovo	ocelářské	zrcadlové
$\text{SiO}_2$ [%]	32 - 34	30 - 40	29 - 38	33 - 40	30 - 34
$\text{Al}_2\text{O}_3$ [%]	10 - 13	10 - 21	9 - 18	6 - 14	8,1 - 8,3
$\text{FeO}$ [%]	0,5 - 0,9	0,2 - 1,5	1,0 - 2,2	0,5 - 4,4	0,5 - 1,4
$\text{MnO}$ [%]	0,3 - 0,4	0,2 - 0,6	1,3 - 4,0	1,0 - 16	7,7 - 12
$\text{CaO}$ [%]	40 - 47	41 - 50	35 - 46	29 - 46	40 - 41
$\text{MgO}$ [%]	2,5 - 3,4	1,0 - 4,5	1,2 - 10	20 - 10,5	5,5
$\text{CaS}$ [%]	2,2 - 7,5	1,7 - 5,5	0,8 - 5	2,5 - 4,1	5,4

### ***Granulovaná struska***

Granulace je v současné době nejrozšířenějším a nejpoužívanějším způsobem zpracování strusky. Taková struska obsahuje více skloviny, jež měla čas rekrystalizovat, a proto je energeticky bohatší, a tím reaktivnější.

Způsoby granulace strusky:

- a) vodní granulace – starý a jednoduchý způsob, tj. vytékání praménku strusky do nádrže nebo žlabu s vodou, dává sice strusku křehkou, dobře melitelnou, ale s obsahem až 50 % vody. To vyžaduje vysušování a zbytečnou dopravu vody.
- b) suchá granulace – (vzduchová granulace) způsob velmi dobrý, ale drahý. Struska se pomocí proudu stlačeného vzduchu dělí na malé kapičky, a ty již poněkud ochlazené narážejí na vnitřní stěny rotačního bubnu, chlazeného jak vně, tak uvnitř. Výsledným produktem jsou kapičky strusky s 1 až 10 % vody.

### ***Použití strusky***

V závislosti na chemické povaze a fyzikálním stavu, ve kterém struska utuhla, nalézá struska své uplatnění.

- Granulovaná vysokopecní struska se užívá jako surovina pro výrobu některých typů cementu. V tomto případě se využívá její latentní hydraulita. Struska se

přidává k vypálenému slínku spolu s dalšími přísadami a mele se na konečný výrobek – cement.

- Struska produkované ve větší frakci se používá jako pórovité kamenivo do lehkých betonů.
- Jemně mletá vysokopecní struska se užívá jako aktivní příměs do cementových kompozitů a zlepšuje jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti [12].

Struska může způsobit rychlejší nárůst pevnosti, zvýšení odolnosti betonu proti mrazu a agresivním vlivům, avšak ve větším množství může nepříznivě ovlivnit stabilitu cementových samozhutnitelných směsí, což může vést ke snížení robustnosti směsi.

## 4 POTĚRY

Podlahový potěr je v normě ČSN 74 4505 definován jako vrstva zhutněného materiálu, obvykle směs pojiva vody a plniva s maximálním zrnem do 8 mm nanesená na místě ve vhodné tloušťce [16].

Základní definice a charakteristiky potěrů jsou uvedeny v normě ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení a zejména v normách ČSN EN 13318 Potěrové materiály a podlahové potěry – Definice a ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky.

Podlahou rozumíme nejen tzv. finální nášlapnou vrstvu, tedy povrch, který vidíme a se kterým přicházíme do kontaktu (dlažba, laminátové podlahy, koberce...), ale i tu část podlahy, kterou nevidíme – tzv. roznášecí (podkladní) vrstvu. Úlohou této vrstvy je rozložit zatížení podlahy do celé plochy a zároveň vytvořit co nejrovnější podklad pro pokládku finální vrstvy podlahy. Nejpoužívanějším materiálem na roznášecí vrstvy je betonová mazanina, směs vody, cementu a jemné frakce kameniva. Tento proces je poměrně zastaralý, ale stále prováděný. Mazaniny sebou přinášejí mnoho nevýhod a úskalí při provádění. V současné době tyto betonové mazaniny začínají nahrazovat samozhutnitelné (samonivelační) potěry. Samozhutnitelné potěry se dopravují pomocí čerpadel a svou vlastní energií se rozlévají do prostoru. Pokládka je tak nesrovnatelně rychlejší a kvalitnější než při instalaci tradiční betonové mazaniny. Samozhutnitelné potěry mají většinou samonivelační účinek a není problém s nimi dosáhnout téměř ideální rovinnosti. Z litých podlah se stále více prosazují anhydritové potěry na bázi síranu vápenatého nebo potěry cementové. Vrstvy litých podlah lze pokládat v tloušťce již od 30 mm [17].

Samozhutnitelný potěr je vysoce kvalitní a ekonomicky výhodné řešení pro roznášecí vrstvy do podlah. Představuje velký technologický progres v oblasti potěrů během uplynulých několika let. Lité potěry mají mnoho výhod oproti tradiční betonové mazanině, která je náročná na provedení. Tradiční betonová mazanina je pokládána ručně a je silně závislá na zručnosti pracovníků, kteří mazaninu na připravený povrch nanášejí. Tento proces je i časově náročnější než pokládka litého potěru, který se aplikuje pomocí čerpadel. Díky vysoké tekutosti směsi je možné čerpat potěr na jedno místo, odkud se rozteče do celého prostoru budoucí podlahy. Po načerpání se pomocí hladítek srovná povrch a není potřeba, jako u tradičních mazanin, rozhrnovat zavlhlou směs do vodorovné roviny. Litý potěr má vyšší



pevnosti jak v tlaku, tak v tahu za ohybu, a proto může být aplikována v tenčích vrstvách např. 30 mm. Těchto 30 mm nahradí 50 mm tradiční mazaniny, čímž se sníží celková hmotnost konstrukce a pevnost roznášecí vrstvy zůstane zachována. Pokud je v prostorách položeno podlahové vytápění, je požadována minimální tloušťka 50 mm pro zajištění dostatečné pevnosti podlahy, aby nedošlo k poškození trubek. Při použití litých potěrů je možno snížit tloušťku a docílit lepší tepelné vodivosti, a tím zefektivnit funkci podlahového vytápění. Pevnost po 24-36 hodinách je dostačující na to, aby se dala znovu zatěžovat. Jedna z nevýhod, která se může vyskytnout při použití litých potěrů, je nadměrné smršťování. To je způsobeno vyšším obsahem vody ve směsi. Vzniku trhlinek v důsledku smršťování je možno zabránit přidavkem vláken, zmenšení dilatačních celků nebo užitím přísady proti smršťování.

Lité potěry jsou na staveniště dodávány v pytlích a silech nebo pomocí autodomíchávačů; záleží na rozsahu prací.

## **4.1 CHARAKTERISTIKA POTĚROVÝCH MATERIÁLŮ**

### **4.1.1 Zavlhlý potěr**

Konzistence čerstvé potěrové malty s nízkým obsahem kapalné fáze, která ještě umožňuje její zhutnění [16]. V praxi se jedná o tradiční betonovou mazaninu obsahující tři složky: cement, vodu a písek. Tradiční cementová mazanina je pokládána ručně a je silně závislá na zručnosti pracovníků, kteří mazaninu na připravený povrch instalují. Nivelace se provádí pomocí nivelačních přístrojů nebo vytvořením vodících pásků po obvodu místnosti. Mazanina se provádí v tloušťkách 50 mm a více milimetrů a to proto, aby byla zajištěna dostatečná pevnost roznášecí vrstvy a eliminovány chyby vzniklé nedůkladným hutněním.

### **4.1.2 Litý potěr**

Potěr, který vzniká samovolným rozlitím bez hutnění [16]. Do této skupiny se řadí samozhutnitelné potěry na bázi cementu a anhydritu. Provádění je rychlé a přesné. Díky zvýšené tekutosti se směs rovnoměrně rozlije do celého prostoru a není nutné ji nijak nadměrně rozprostírat. Proces ukládání je rychlejší a snazší v porovnání s prováděním běžných cementových mazanin. Díky dokonalému zhutnění je možné tyto potěry provádět od tloušťek 30 mm (v případě podlahového topení je minimum 50 mm). Potěr dosahuje velmi dobré pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu, má nízkou pórovitost a dobrou tepelnou vodivost.

## **4.2 ROZDĚLENÍ POTĚRŮ DLE POJIVA**

### **4.2.1 Cementové potěry**

Označení: CT (Cementitious screed)

CT je nejčastěji používaným potěrem. Dosahuje velice dobrých pevností v tlaku a je odolný vůči zvýšené relativní vlhkosti prostředí. CT lze aplikovat v interiéru i v exteriéru a je vhodný i pro podlahové vytápění. Suroviny využívané pro výrobu jsou cement, kamenivo frakce 0 - 4 mm, respektive 0 - 8 mm, voda a pro samozhutitelné cementové potěry jsou přidávány příměsi a přísady, za účelem zlepšení vlastností čerstvého potěru. CT se na místo dopravuje ručně nebo čerpadly, záleží na konzistenci směsi. Provádí se jako jednovrstvý nebo dvouvrstvý. CT může sloužit jako finální vrstva v průmyslových budovách a tam, kde nejsou vysoké estetické požadavky, nebo se na jeho povrch provádí nášlapná vrstva. Podlahovina se může provádět již při 5% zbytkové vlhkosti potěru, což přispívá k urychlení prací na staveništi.

### **4.2.2 Anhydritové potěry**

Označení CA (Calcium sulfate screed)

Jedná se o homogenní, vysoce tekutou směs na bázi síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4$ ) se samonivelačním účinkem. Vyznačuje se snadnou zpracovatelností, rychlou pokládkou a vysokou finální pevností. Umožňuje vytvoření dokonalé rovné podlahové plochy pod finální nášlapné vrstvy a je ideálním řešením pro maximální efektivitu systémů podlahových topení. V dnešní době se jedná o nejspolehlivější podlahovou technologii výrazně eliminující vznik poruch v podlahových konstrukcích. Hlavní výhodou potěrů na bázi síranu vápenatého je objemová stálost, a tím výrazně omezená nutnost vytvářet smršťovací spáry. Naproti tomu mají tyto potěry omezené využití ve vlhkých prostorech, kde je nezbytné provést nášlapnou vrstvu. Tyto prostory je nutné vysušit na 1% zbytkové vlhkosti ve vrstvě potěru před ukládkou nášlapných vrstev.

### **4.2.3 Potěr z hořečnaté maltoviny**

Označení: MA (Magnesite screed)

Magnezitový potěr je vhodný pro zvláštní požadavky. Proto má jen nízký podíl mezi ostatními potěry. Používá se pro vysoké mechanické zatížení v interiéru. Magnezitový potěr se vyrábí z rozemletého kysličníku hořečnatého (magnezit), jemnozrnné organické výplně

(dřevěné piliny, korková moučka, textilní vlákna, křemičitý písek) a z roztoku chloridu hořečnatého. Podlaha se provádí jako jednovrstvá mazanina o tloušťce 15 až 25 mm, uložená na podklad z betonu. Magnezitové potěry zpracovávají pouze specializované firmy [18].

#### **4.2.4 Potěr z litého asfaltu**

Označení: AS (Mastic asphalt screed)

Přes několik dobrých vlastností se potěr z litého asfaltu málo používá. Výhodou je nezávislost na počasí a teplotě při pokládce, nevznikají delší časové prodlevy, protože už po jednom dni mohou následovat další práce. Vyniká rovněž možností vytvořit velké plochy bez dilatačních spár. Černá barva lehce pouští a potěr má typický asfaltový zápach. Pozitivní tepelné a zvukově izolační vlastnosti a parotěsnost jsou jen některými z jeho kladných vlastností. Potěr z litého asfaltu sestává z bitumenové drti, písku a kamenné moučky. Stěrkuje se v tloušťce 2-3 mm a lze ho použít jen ve spojení se stěrkovými hmotami, které vytvrzují bez vzniku pnutí [18].

### **4.3 KLASIFIKACE POTĚRŮ**

Potěry jsou hodnoceny podle různých kritérií, které jsou uvedeny v ČSN EN 13813. Rozdělení potěrových materiálů dle užitných vlastností a zkoušky, které se pro jednotlivé druhy provádějí, jsou povinné a nepovinné.

#### **4.3.1 Povinné normativní zkoušky**

- Cementový potěr: pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, dále jedna ze tří zkoušek obrusem- odolnost proti obrusu „Böhme“, odolnost proti obrusu „BCA“, odolnost proti opotřebení valivým zatížením, další zkoušky jsou volitelné
- Anhydritové potěry: pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, hodnota pH, další zkoušky jsou volitelné
- Potěr z hořečnaté maltoviny: pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, tvrdost povrchu (jen pro potěrový materiál určený pro povrch odolný potěru)
- Asfaltové potěry: tvrdost proti vtlačení

#### **4.3.2 Volitelné normativní zkoušky**

Odolnost proti obrusu „BCA“, odolnost proti opotřebení valivým zatížením, tvrdost povrchu, tvrdost proti vtlačení, odolnost proti opotřebení valivým zatížením potěrů s podlahovou

krytinou, doba zpracovatelnosti, smrštění a rozpínání, konzistence, modul pružnosti v tahu za ohybu, odolnost v rázu, přídržnou.

### 4.3.3 Značení potěrů dle charakteristických vlastností

Tab. č. 6 Pevnostní třídy potěrových materiálů

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

Tato zkouška se určuje na šesti zkušebních vzorcích. Jde o maximální tlakovou sílu, při které se zkušební těleso poruší.

Tab. č. 7 Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tahu za ohybu

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Pevnost v tahu za ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu se užívají trámečky o rozměrech 40x40x160 mm. Jedná se o tříbodový ohyb. Na vzniklých zlomcích trámečků se následně určuje pevnost v tlaku.

Tab. č. 8 Odolnost proti obrušování v třídách Böhme pro cementové a jiné potěrové materiály

Třída	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Množství obrušování [cm <sup>2</sup> /50 cm <sup>2</sup> ]	22	15	12	9	6	3	1,5

Pro tuto zkoušku se užívá stůl s otočným brusným kotoučem. Zkušební těleso je vystaveno 16 - ti cyklům o 22 otáčkách. Metoda Böhme je často používaná pro stanovení odolnosti proti obrušování.

Tab. č. 9 Odolnost proti obrušování v třídách BCA pro cementové a jiné potěrové materiály

Třída	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Maximální hloubka obrušování [μm]	600	400	200	100	50

Pro tuto metodu je užito speciální zařízení, které určí hloubku obrušování.

Tab. č. 10 Odolnost proti opotřebení proti valivým zatížením pro cementové a jiné potěrové materiály

Třída	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA5
Množství ohrusu [cm <sup>2</sup> ]	300	100	20	10	5

Užívaná pro potěry, které budou vystaveny kolové dopravě.

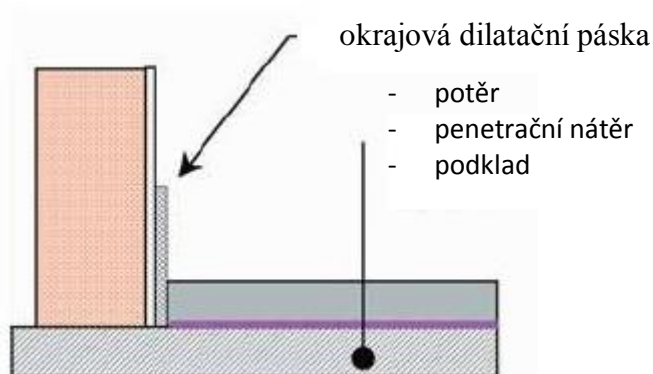
U potěrového materiálu ze síranu vápenatého musí být hodnota pH při stanovení podle prEN 13454-2 rovna nebo větší než 7.

## 4.4 DRUHY POTĚRŮ DLE ZPŮSOBU APLIKACE

### 4.4.1 Spojený potěr

Potěr bezprostředně spojený s podkladem v celé ploše tak, že je vyloučen vzájemný vodorovný posun na rozhraní podklad/potěr. Případné vodorovné pohyby potěru a podkladu musí být shodné, a všechna napětí vznikající z technologických a teplotních tvarových změn, provozu apod. zachycuje celé spřažené souvrství potěru a podkladu [19]. Tento typ potěru je vhodný pro místnosti s nášlapnou povrchovou úpravou – pokládka koberce, linolea, dlaždic, parket apod. Je nutno použít spojovací vrstvu (penetraci). Minimální tloušťka 25 mm.

Obr. č. 4 Spojený potěr



### 4.4.2 Potěr na oddělovací vrstvě

Potěr v celé ploše oddělený od podkladu pomocí izolační vrstvy (tepelně izolační nebo akustické) a od ohraničujících a prostupujících konstrukcí oddělený pomocí okrajových

dilatačních pásků. Oddělený potěr se používá pro podlahy bez nároků na zvýšenou neprůzvučnost [19]. Minimální tloušťka 30 mm.

Obr. č. 5 Potěr na oddělovací vrstvě



#### 4.4.3 Plovoucí potěr

Potěr v celé ploše zcela oddělený od podkladu pomocí izolační vrstvy (tepelně izolační nebo akustické) a od ohraničujících a prostupujících konstrukcí oddělený pomocí okrajových dilatačních pásků. Pevná a tvarově stálá deska potěru tvoří s izolační vrstvou kmitající mechanismus tlumící vibrace a zlepšující kročejovou neprůzvučnost podlahy [19].

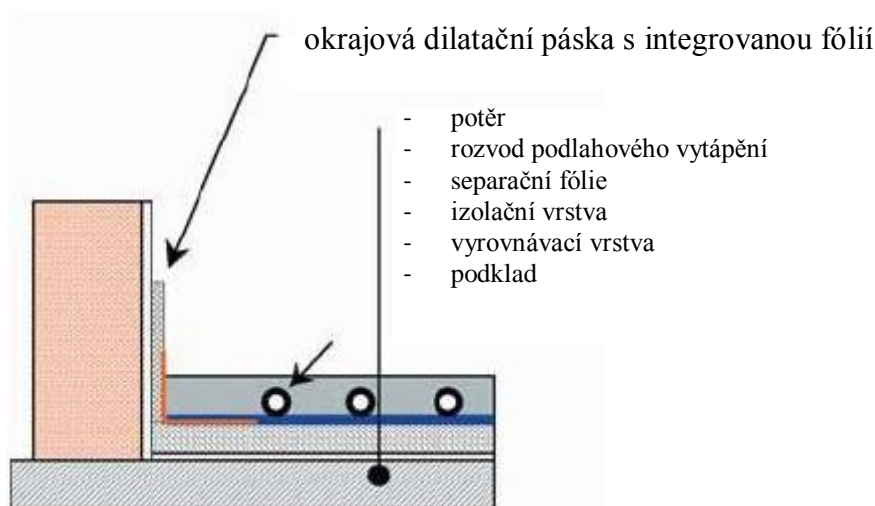
Obr. č. 6 Plovoucí potěr



#### 4.4.4 Plovoucí potěr pro vytápěnou podlahu

Potěr zahrnující systém podlahového vytápění. Zpravidla se provádí jako plovoucí potěr na tepelně izolační vrstvě [19].

Obr. č. 7 Plovoucí potěr pro vytápěnou podlahu



#### 4.5 SAMONIVELAČNÍ CEMENTOVÝ POTĚR

Samonivelační cementové potěry (SCP) jsou jemnozrnné potěrové hmoty, které jsou charakterizovány samozhutnitelnou vlastností. Jako pojivo je užitý cement, plnivem je pak kamenivo frakce s maximálním zrnem 8 mm, respektive 4 mm. Pro docílení tekutosti směsi je možno rapidně zvýšit vodní součinitel, ale to vede k tzv. krvácení a rozměšování čerstvého potěru. Dále vysoký obsah vody ve směsi způsobuje nadměrné smrštění při zrání a pokles pevnosti vyzrálého potěru, proto se volí přidavek plastifikačních nebo superplastifikačních přísad. Tyto přísady zajistí tekutost směsi i v případě, že vodní součinitel je nízký. Cement jako pojivo je velice výhodný, jelikož odolává zvýšené relativní vlhkosti a běžně dosahuje dobrých pevností. SCP lze použít jako roznášecí vrstvu nebo i jako finální úpravu podlahy. SCP jako finální úprava je často využíván do průmyslových objektů a do prostor, kde není vysoký estetický požadavek. V současné době se SCP provádí i s povrchovou úpravou leštění, která působí velice dobrým dojmem.

Další výhodou je možnost aplikace v prostorech s možným nárůstem vlhkosti, ale také možnost pokládky nášlapné vrstvy dříve, než v případě anhydritových potěrů. ČSN 74 4505 stanovuje maximální dovolenou vlhkost potěru před pokládkou nášlapných vrstev. Například

pod paropropustné podlahoviny (např. koberec) je hodnota vlhkosti, v případě potěru na bázi síranu vápenatého, maximálně 1%. V případě cementových potěrů je to však maximálně 5%. V případě anhydritových potěrů je uvedené hodnoty dosahováno přibližně po 30 dnech v závislosti na tloušťce potěru, klimatických podmínkách a systému větrání na staveništi. Při srovnatelných klimatických podmínkách dosahuje SCP vlhkosti 5% již po 7 - 14 dnech. Tento fakt upřednostňuje využití SCP nejen v prostorech se stále zvýšenou vlhkostí, ale také v ostatních místnostech při výstavbě bytových a administrativních budov, či rodinných domů.

Jelikož se jedná o potěr na bázi cementu, je třeba mít na paměti, že hodnoty smrštění jsou větší než například u potěrů na bázi síranu vápenatého. Na druhou stranu je smrštění SCP menší než objemové změny tradiční betonové mazaniny. Aby se předešlo vzniku trhlin při zrání potěru, je vhodné dodržet maximální rastr dilatačních celků 6 x 6 metrů nebo maximální poměr stran dilatačních celků 4 : 1.

## **4.6 MATERIÁLY PRO VÝROBU CEMENTOVÝCH SAMOZHUTNITELNÝCH POTĚRŮ**

### **4.6.1 Kamenivo**

Kamenivo je plnivo a tvoří 60-75 % směsi. Užívá se kamenivo frakce 0-8, respektive 0-4 mm. Vhodnější je kamenivo těžené než drcené. Úplně nejvhodnějším řešením je těžené prané kamenivo, protože jsou odplaveny jílové a i případné dřevěné nečistoty, které by mohly způsobit snížení kvality potěru. Nasákavost těženého kameniva se běžně pohybuje v řádu desetin procent. Kamenivo musí splňovat požadavky dle ČSN EN 12620 Kamenivo pro malty. Před použitím kameniva musí být proveden síťový rozbor a zjištěno, zda je zrnitost kameniva vyhovující a nepřevládá pouze jedna frakce. Dále je nutno určit obsah alkálií. Pokud by byl zjištěn vyšší obsah alkálií, kamenivo nesmí být použito, jelikož by mohlo dojít k rozpadu kameniva a celkové degradaci potěru vlivem alkalicko-křemičité reakce.

### **4.6.2 Cement**

Cement musí splňovat požadavky dle ČSN EN 197-1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Vhodný je vysokopecní cement CEM III s vyšším měrným povrchem, který přispívá ke zvýšení tekutosti potěru. Běžně se však používá CEM I, který je na trhu nejdostupnější. Cement se přidává ve vyšších dávkách, minimálně však 300 kg/m<sup>3</sup>.



#### **4.6.3 Voda**

Voda užívaná pro přípravu SCP musí splňovat požadavky dle ČSN EN 1008 Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsová voda do betonu. Vhodnost vody získané při recyklaci v betonárně nebyla testována, a proto se nedoporučuje její použití. Nejvhodnější je voda z vodovodního řádu, která neobsahuje pevné částice a jiné znečišťující látky. Obsah chemikálií ve vodě nesmí přesáhnout hodnoty stanovené normou ČSN EN 1008. Voda se dává hmotnostně a její množství je vypočteno pomocí vodního součinitele.

#### **4.6.4 Příměsi**

Příměsi se přidávají za účelem zvýšení podílu jemných částic ve směsi, a v případě přidavku příměsí typu II také z důvodu snížení množství cementu. Měrný povrch těchto práškových látek se pohybuje od 250 až po 30 000 m<sup>2</sup>/kg. Pro samozhutnitelné směsi jsou velice vhodné z důvodu vytvoření hutnějšího cementového tmele. Tím se snižuje nebezpečí segregace a bleedingu čerstvého potěru.

#### **4.6.5 Přísady**

Přísady jsou látky, které se přidávají během mísení směsi za účelem zlepšení reologických vlastností jak čerstvého tak zatvrdlého potěru. Přidávají se v množství 0,2 – 5 % z hmotnosti cementu. Pro zvýšení tekutosti je vhodné užití plastifikačních a superplastifikačních přísad. Superplastifikační přísady by měly působit při ukládání potěru a zvyšovat tekutost a prostupnost směsi úzkými místy, například mezi trubkami podlahového topení. Přidavkem superplastifikační přísady se sníží množství vody a tím je zachována vhodná konzistence směsi, která se nesegreguje a je odolná proti blokaci. Dále se může užít provzdušňující přísada, která též zvyšuje tekutost samozhutnitelných směsí.

#### **4.6.6 Rozptýlená výztuž**

V některých případech je vhodné použití rozptýlené výztuže pro zlepšení vlastností potěru. Cementový potěr má poměrně velké smrštění při zrání. Například přidavkem polypropylenových vláken v dávce do 2 kg/m<sup>3</sup> se může snížit množství mikrotrhlinek. Pro zvýšení pevnosti potěru je vhodné užití ocelových drátků v množství 25 -50 kg/m<sup>3</sup>. Zvýší pevnost potěru v tahu a tahu za ohybu.

## **5 ZKOUŠKY PROVÁDĚNÉ NA SAMOZHUTNITELNÝCH CEMENTOVÝCH POTĚRECH**

Jednotlivé zkoušky prováděné pro zjištění vlastností SCP splňují normové požadavky na aplikace daných postupů. V případě zkoušek na konzistenci směsi se použijí nenormové zkoušky odvozené od zkoušek pro posouzení tekutosti cementového tmele pro samozhutnitelné betony.

Jedná se o stanovení konzistence směsi míra rozlití pomocí Hagermannova trychtýře (mini-slump flow tester). Dále je použit malý V-trychtýř a Marshův kužel pro zjištění tekutosti. U čerstvé směsi se dále stanoví doba zpracovatelnosti. Po provedení zkoušek na čerstvém potěru je zajištěno správné uložení a ošetření vzorků. Po uplynutí doby předepsané normou se podrobí vzorky zkoušce v tlaku, v tahu za ohybu a odolnost proti obrusnosti dle Böhma.

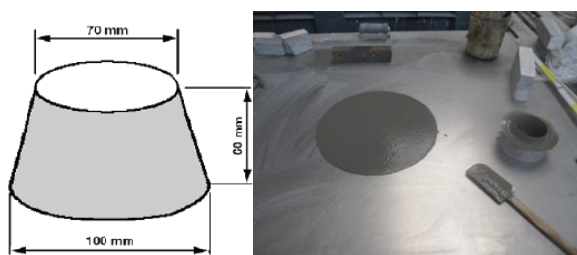
### **5.1 ZKUŠEBNÍ METODY MALT PRO ZDIVO - ČÁST 6: STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ČERSTVÉ MALTY (ČSN EN 1015-6 ZMĚNA A1) [20]**

Objemová hmotnost čerstvé malty se stanoví jako poměr její hmotnosti a objemu, který zaujímá, je-li vnesena předepsaným způsobem do měřicí nádoby daného objemu. Objemová hmotnost je uvedena v  $\text{kg/m}^3$  s přesností na desítky.

### **5.2 POJIVA, KOMPOZITNÍ POJIVA A PRŮMYSLOVĚ VYRÁBĚNÉ MALTOVÉ SMĚSI PRO PODLAHOVÉ POTĚRY ZE SÍRANU VÁPENATÉHO – ČÁST 2: ZKUŠEBNÍ METODY (ČSN EN 13454-2+A1) [21]**

Pro test rozlití kužele je použit Hagermannův trychtýř (výška 60 mm, horní vnitřní průměr 70 mm, spodní vnitřní průměr 100 mm, viz. Obr. č. 8). Forma i podkladní deska z nenasákavého materiálu se před prováděním zkoušky navlhčí. Forma se umístí do středu podkladní desky, přidrží se jednou rukou a naplní se směsí. Přebytková směs se seřízne pomocí ocelového pravítka. Po 10 až 15 sekundách se forma pomalu zvedne kolmo vzhůru. Malta ulpěná na formě se nebere v úvahu. Vzniklý koláč se změří s přesností na 1 mm ve dvou navzájem kolmých směrech a tyto hodnoty se zaznamenají. Rozliv je dán průměrem obou naměřených hodnot. Požadovaná hodnota rozlití je 230 až 250 mm.

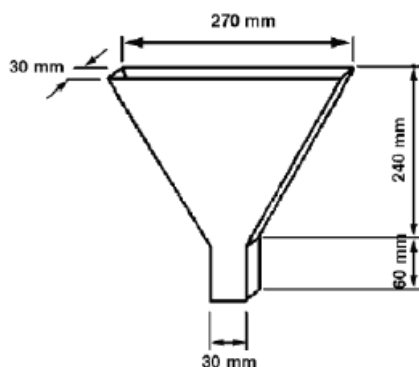
Obr. č. 8 Hagermannův trychtýř



### 5.3 ZKOUŠKA ČERSTVÉHO POTĚRU: ZKOUŠKA MINI V-TRYCHTÝŘEM (MINI V-FUNNEL TEST)

Mini V-trychtýř pro zkoušení malt a potěrů pracuje na stejném principu jako V-trychtýř pro zkoušení samozhutnitelných betonů. Před provedením zkoušky se Mini V-trychtýř navlhčí a uzavře spodní otvor pomocí zákločky. Zkouška se provádí těsně po dokončení míchání čerstvého potěru. Celý objem trychtýře se naplní směsí a horní okraj se urovná pomocí ocelové stěrky. Stopky jsou spuštěny v okamžiku, kdy je otevřen spodní otvor a směs začne vytékat do předem připravené nádoby. Sledovanou veličinou je čas od otevření spodního otvoru do doby, kdy je možno vidět skrz spodní otvor nádobu pod trychtýřem. Čas je zaznamenán v sekundách s přesností 0,01 s.

Obr. č. 9 Mini V-trychtýř



### 5.4 ZKOUŠKA ČERSTVÉHO POTĚRU: ZKOUŠKA KOZISTENCE POMOCÍ MARSHOVA KUŽELE (CONE TEST)

Vlastnosti čerstvého potěru se mohou testovat i pomocí Marshova kužele (viz. Obr. č. 10). Tento test prokáže, zda je směs schopna vyplnit i malé prostory, například mezi trubkami podlahového topení. Zkušební postup byl totožný s postupem uvedeným v normě ČSN EN 445 Injektážní malta pro předpínací kabely - Zkušební metody, jediná odlišnost byl průměr

výtokového otvoru. Norma předepisuje otvor o průměru 10 mm v našem případě je průměr 15 mm. Předem navlhčený kužel s uzavřeným spodním otvorem se naplní 1 litrem cementového potěru. Stopky jsou spuštěny v okamžiku, kdy je otevřen spodní otvor a směs začne vytékat do předem připravené nádoby. Sledovanou veličinou je čas od otevření spodního otvoru o průměru 15 mm do doby, kdy je možno vidět skrz spodní otvor nádobu pod trychtýřem. Tato doba určuje míru viskozity cementových potěrů. Čas je zaznamenán v sekundách s přesností 0,05 s.

Obr. č. 10 Marshův kužel



## **5.5 POJIVA, KOMPOZITNÍ POJIVA A PRŮMYSLOVĚ VYRÁBĚNÉ MALTOVÉ SMĚSI PRO PODLAHOVÉ POTĚRY ZE SÍRANU VÁPENATÉHO – ČÁST 2: ZKUŠEBNÍ METODY (ČSN EN 13454-2+A1) [21]**

Pro zjištění doby zpracovatelnosti je používán Hagermannův trychtýř stejně jako pro test rozlití kužele. Cílem zkoušky je zjistit dobu, po kterou je směs schopna téci. Test rozlitím je opakován každých 5 minut do doby, dokud se hodnota rozlití nesníží o 20 % (ale nesmí klesnout pod spodní hranici 190 mm) vůči rozlití v nulovém čase (konec míchání). Požadovaná hodnota se pohybuje mezi 60 a 90 minutami.

## **5.6 ZKUŠEBNÍ METODY POTĚROVÝCH MATERIÁLŮ - ČÁST 1: ODBĚR VZORKŮ, ZHOTOVENÍ A OŠETŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES (ČSN EN 13892-1) [22]**

### **5.6.1 Míchání**

Míchání probíhá v míchačce pro malty podle EN 196-1. Míchací režim pro všechny směsi musí být stejný, aby bylo možno porovnávat vlastnosti jednotlivých receptur.

### **5.6.2 Příprava a plnění forem**

Formy pro zhotovení zkušebních těles musí být zhotoveny z oceli nebo z jiného srovnatelného materiálu. Před plněním by se vnitřní strany forem měly vymazat separačním přípravkem, aby nedocházelo k přilnutí cementového potěru k formě. Formy se plní v jedné vrstvě bez hutnění. Přebytečná směs se setře pomocí ocelového hladítka a povrch se urovná. Každé zkušební těleso musí být řádně označeno štítkem.

### **5.6.3 Ošetřování zkušebních těles na bázi cementu**

Zkušební vzorky musí být uloženy v prostoru, kde je možno udržovat teplotu  $20 \pm 2$  °C a relativní vlhkost  $95 \pm 5$  % po dobu dvou dní než je zkušební těleso odformováno a poté je požadovaná relativní vlhkost  $65 \pm 5$  %. Zkušební vzorky jsou ponechány ve formě po dobu  $48 \pm 2$  hodin, poté odformovány a ponechány v klimatizované komoře do doby než na nich budou prováděny zkoušky.

## **5.7 ZKUŠEBNÍ METODY MALT PRO ZDIVO - ČÁST 10: STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI SUCHÉ ZATVRDLÉ MALTY (ČSN EN 1015-10 ZMĚNA A1) [23]**

Objemová hmotnost suché zatvrdlé malty se stanoví jako poměr hmotnosti zkušebního tělesa ve vysušeném stavu a jeho objemu. Objemová hmotnost je uvedena v  $\text{kg/m}^3$  s přesností na desítky.

## 5.8 ZKUŠEBNÍ METODY POTĚROVÝCH MATERIÁLŮ - ČÁST 2: STANOVENÍ PEVNOSTI V TAHU ZA OHYBU A PEVNOSTI V TLAKU (ČSN EN 13892-2) [24]

### 5.8.1 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu

Nejprve se stanoví na zkušebním tělese o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm pevnost v tahu za ohybu. Zkušební těleso je vloženo do zkušebního zařízení a plynule zatěžováno rychlostí  $50 \pm 10$  N/sec do porušení. Maximální vyvozené zatížení se zaznamená. Obě poloviny zkušebního tělesa se vloží zpět do ukládacího prostoru a slouží pro stanovení pevnosti v tlaku.

Pro výpočet pevnosti v tahu za ohybu je použit následující vztah:

$$f_f = \frac{3 \cdot F \cdot l_p}{2 \cdot b \cdot h^2} [N/mm^2]$$

kde  $F$  je zatěžovací síla [N]  
 $b$  je šířka vzorku [mm]  
 $h$  je výška vzorku [mm]

$l_p$  je vzdálenost podpor 100 mm

Pevnost v tahu za ohybu se zaznamená s přesností  $0,05$  N/mm<sup>2</sup> pro jednotlivá zkušební tělesa a s přesností  $0,1$  N/mm<sup>2</sup> pro průměrnou hodnotu ze tří vzorků.

### 5.8.2 Zkouška pevnosti v tlaku

Šest částí zkušebních těles po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu se zkouší ve stejný den jako pevnost v tahu za ohybu.

Dotykové plochy tlačných destiček zkušebního stroje se musí otřít čistou tkaninou a odstranit všechny zbytky písku nebo jiného uvolněného materiálu. Polovina zkušebního tělesa se osadí tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání potěru. Zatížení se musí vyvozovat rovnoměrně bez rázů, rovnoměrnou rychlostí  $2400 \pm 200$  N/sec do porušení. Maximální vyvozené zatížení se zaznamená.

Pro výpočet pevnosti v tlaku je použit následující vztah:

$$f_c = \frac{F}{A_c} [N/mm^2]$$

kde  $F$  je maximální zatížení při porušení [N]

$A_c$  je tlačená plocha (40 mm x 40 mm) [mm<sup>2</sup>]

Pevnost v tlaku se zaznamená s přesností 0,05 N/mm<sup>2</sup> pro jednotlivá zkušební tělesa a s přesností 0,1 N/mm<sup>2</sup> pro průměrnou hodnotu ze šesti částí zkušebních těles.

### **5.9 ZKUŠEBNÍ METODY POTĚROVÝCH MATERIÁLŮ - ČÁST 3: STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI OBRUSU METODOU BÖHME (ČSN EN 13892-3) [25]**

Odolnost proti obrusu je prováděna na zkušebních tělesech ve tvaru krychle o délce strany 71 ± 1,5 mm a minimální tloušťka 30 mm. Povrch vzorku musí být rovný a čistý. Každé zkušební těleso se zváží s přesností 0,1 g. Na horní straně zkušebního tělesa (strana, která není testována na obrus) se vyznačí sít devíti bodů, které se změří před prvním cyklem a pak po každém cyklu pomocí číselníkového úchylkoměru s přesností 0,01 mm.

Každé zkušební těleso je podrobeno zkoušení v 16 cyklech a každý cyklus o 22 otáčkách. Na brusnou dráhu rotačního stolu je před každým cyklem nasypáno 20 g brusiva. Zkušební těleso se upevní do držáku a zatíží 294 ± 3 N.

Po každém cyklu se očistí styčná plocha i brusný kotouč a zkušební těleso se otočí o 90 °. Na brusnou dráhu se nasype nových 20 g brusiva a proběhne další cyklus.

Vyjádření výsledků:

$$A = \Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_R} = \Delta l \times 5 [\text{cm}^3 / 50 \text{cm}^2]$$

kde  $\Delta m$  je úbytek hmotnosti obrusem

$\Delta l$  je úbytek tloušťky vzorku

Odolnost proti obrusu metodou Böhme po 16 cyklech se musí stanovit jako zmenšení objemu zkušebního tělesa  $\Delta V$ . Výsledky pro jednotlivá zkušební tělesa jsou zaznamenány s přesností na 0,05 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup> a odpovídající průměrná hodnota s přesností 0,1 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup>.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této bakalářské práce byla prováděna v rámci projektu Recy Flow screed. Výzkum byl proveden v laboratořích Vysoké školy v Oostende, Belgie pod vedením Ing. Luc Boehme, MSc.. Tento projekt byl realizován z důvodu nedostatku těžené frakce kameniva 0 – 4 mm v dané lokalitě, kdy nedostatek kameniv pro stavební účely frakce 0-4 mm je častým problémem v celé Belgii. Jako alternativa byl zvolen betonový recyklát, kterého je dostatek a nemá příliš velké využití. Pro výrobu samozhutitelného cementového potěru byly z výše uvedených důvodů použity suroviny vyráběné v Belgii.

Na českém trhu jsou k dispozici suroviny podobných vlastností, a proto by neměl být problém tuto směs vyrobit i v České republice. Jediný problém může nastat u cementu se sníženým obsahem alkálií. Takový se u nás nevyrábí, ale průzkumem bylo zjištěno, že cementy vyráběné v Česku mají obecně nízký obsah alkálií. Dále by se musela prokázat kompatibilita superplastifikační přísady a cementu respektive jemně mletého vápence.



## 6 SAMOZHUTNITELNÝ CEMENTOVÝ POTĚR

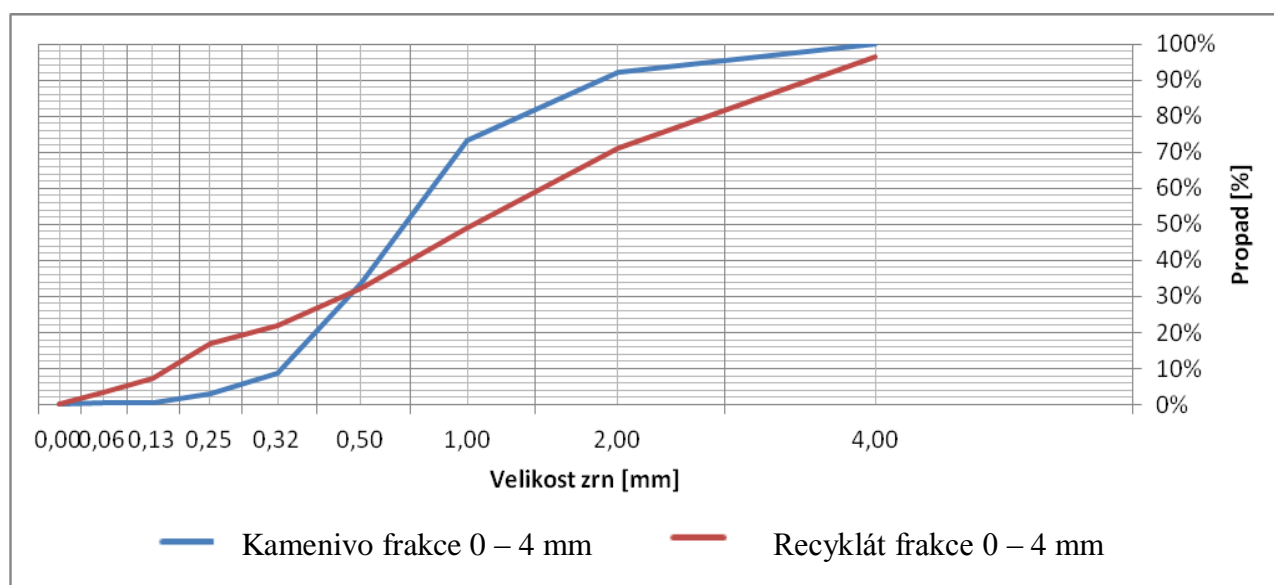
### 6.1 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro výzkum byl použit vysokopecní cement s limitovaným obsahem alkálií (CEM III/A 42,5 N LA). Vlastnosti cementu byly v souladu s normou ČSN EN 197-1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Cement od firmy Holcim, Nijvel, Belgie. Pevnost v tlaku cementu po 2, 7 a 28 dnech byla 18 MPa, 34 MPa a 56 MPa. Jemně mletý vápenec použitý při výzkumu byl "Calcitec 2001 M" z Carmeuse factory, Seilles, Belgie. Chemické a fyzikální vlastnosti jemně mletého vápence a cementu viz. Tab. č. 11. Těžený písek frakce 0-4 mm, objemová hmotnost  $2680 \text{ kg/m}^3$  a nasákavost 0,88 %. Recyklované kamenivo frakce 0-4 mm s objemovou hmotností  $2420 \text{ kg/m}^3$  a nasákavostí 7,5 % pocházel z demolice betonových a cihelných konstrukcí. Křivky zrnitosti písku a recyklovaného kameniva (viz. Graf č. 1) byly stanoveny pomocí síťového rozboru. Superplastifikační přísada (SP) GIMARCOPLAST FM 643 vyroben společností BASF, Oosterhout, Holandsko. SP obsahoval 19 % pevných částic, pH  $6.0 \pm 1$  a hustota při  $20^\circ\text{C}$  je  $1.04 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ . Jako záměsová voda byla použita voda z vodovodního řadu.

Tab. č. 11 Chemické složení a vybrané technické údaje cementu a jemně mletého vápence

Základní složky (%)	Cement	Jemně mletý vápenec
CaCO <sub>3</sub>	-	98,70
CaO	51,8	-
SiO <sub>2</sub>	26,0	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,2	0,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,8	0,05
MgO	4,2	0,34
Na <sub>2</sub> O	0,34	-
K <sub>2</sub> O	0,61	-
SO <sub>3</sub>	3,2	-
Cl	0,05	-
Ztráta žháním	1,20	-
Nerozpustné zbytky	0,50	-
Měrný povrch (m <sup>2</sup> /kg)	410	475
Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	3010	2690

Graf č. 1 Křivka zrnitosti kameniva a betonového recyklátu



## 6.2 NÁVRH RECEPTUR SCP

Při návrhu nových receptur je důležitý výběr vhodných surovin a postup mísení. Vysokopeční cement s limitovaným obsahem alkálií má vysoký měrný povrch a zaručuje vyšší počáteční pevnosti než běžný Portlandský cement. Tento typ byl zvolen za účelem umožnění zátěže SCP po 24 hodinách. Nízký obsah alkálií je z bezpečnostních důvodů, protože recyklované kamenivo může mít zvýšený obsah alkálií oproti přírodnímu kamenivu. Superplastifikační přísada byla použita z důvodu snížení obsahu záměsové vody a zvýšení plastičnosti směsi. Je nezbytné otestovat, zda nevznikají negativní reakce mezi SP a ostatními složkami. V tomto projektu byla použita SP na bázi polykarboxilátu etheru s dávkováním 0,2 - 3,0 % z hmotnosti cementu. SP byla předem testována na reakci s cementem a zkouška neprokázala žádné negativní reakce mezi těmito dvěma složkami. Jemně mletý vápenec (LP) je inertní příměs, která má vliv na tekutost a viskozitu směsi. Všechny navržené směsi mají stejný obsah LP a to 16,9 % z podílu jemných částic. Při návrhu byla stanovena limitní pevnost na 20 N/mm<sup>2</sup>. Recyklované kamenivo (RA) bylo využito za účelem zjištění vhodné procentuální náhrady přírodního kameniva bez toho, aniž by negativně ovlivnilo vlastnosti čerstvého nebo zatvrdlého potěru. Recyklované kamenivo obecně obsahuje vyšší podíl jemných částic (viz. Graf 1), což má kladný vliv na tekutost čerstvého potěru. Recyklované kamenivo má znatelně vyšší nasákavost (7,5 %) než písek (0,88 %), a proto se obsah záměsové vody zvyšuje poměrně s rostoucím procentem náhrady kameniva recyklovaným

kamenivem. Tento fakt může způsobovat větší objemové změny potěru při zrání, a tím zvýšit riziko trhlinek.

Dávkování složek bylo založeno na několika teoriích pro složení malt a potěrů a samozhutnitelného betonu [26]. Jelikož je kamenivo i recyklát přidáván v suchém stavu, je přidávána voda na jejich nasáknutí. V případě recyklátu je množství dodatečné vody poměrně znatelné. Referenční receptura obsahovala pouze kamenivo frakce 0 – 4 mm. Receptura 2 obsahovala 10 % recyklátu a dále se obsah recyklovaného kameniva zvyšoval vždy o 10 %. V Tab. č. 12 a 13 je uvedeno složení šesti receptur, které byly vyvinuty a testovány. Pro mixování 2 litrů směsi byl použit stroj Hobert s dvěma rychlostmi, rychlost 1 (60 otáček za minutu) a rychlost 2 (130 otáček za minutu). Množství SP musí být stanoveno pro každé míchané množství. V našem případě bylo testováno množství 2 litry a 10 litrů, v obou případech byla dávka SP 0,68 % z hmotnosti cementu. Pro dávku 1 m<sup>3</sup> množství SP nebylo stanoveno.

Vodní součinitel byl stanoven několika způsoby (viz. Tab. č. 14). Za základní vodní součinitel byl zvolen poměr vody ku cementu, což je u všech receptur 0,75. Jako příměs je použit jemně mletý vápenec, který však nemá normou stanovený koeficient „k“. V mém případě jsem použila koeficient „k“ 0,15 respektive 0,10 s ohledem na míru aktivity příměsi. LP patří do skupiny neaktivních příměsí, ale pokud má vysokou jemnost mletí může se také částečně podílet na pevnosti cementového tmele. Dále jsem u výpočtu vodního součinitele zohledňovala množství jemných částic obsažených v plnivu. Kamenivo obsahuje 2,63 % jemné frakce do 0,125 mm a recyklát 16,93 %. Obsah jemné frakce v recyklátu je téměř 20 % a z velké části je tvořen rozdrceným cementovým tmelem. Tento tmel stále může obsahovat nehydratované částice cementu, a tudíž může také přispět k pevnosti cementového tmele. Varianta vodního součinitele w<sub>3</sub> zahrnuje i obsah jemných částic v kamenivu respektive v recyklátu a koeficient „k“ je 0,05. Velký podíl jemných částic přispívá k tvorbě velkého množství tmele, ale také zvyšuje množství záměsové vody potřebné pro smočení povrchu jemných částic. Pro účely této bakalářské práce byla použita první zmiňovaná varianta a to, vodní součinitel 0,75. Z důvodů vysoké nasákavosti betonového recyklátu (7,5%) byla přidávána voda na nasáknutí recyklátu respektive kameniva. Obsah vody se zvyšoval se zvyšujícím se obsahem náhrady kameniva recyklátem, čímž bylo zaručeno dostatečné množství vody pro hydrataci cementu a dosažení požadované konzistence směsi. Zvýšený přídavek vody pro nasáknutí kameniva může mít kladný vliv při zrání potěru. Voda z recyklátu je postupně uvolňována a slouží k dodatečné hydrataci cementové malty.

Po zvážení vlivu příměsí a jemných podílů v kamenivu respektive recyklátu byl vodní součinitel v rozmezí od 0,71 do 0,92. Při výpočtu vodního součinitele  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  a  $w_4$  byla použita hmotnost vody včetně přídatku pro nasáknutí kameniva respektive recyklátu. Pokud bychom stanovovali vodní součinitel s použitím pouze hmotnosti vody bez přídatku pro nasáknutí recyklátu, hodnota vodního součinitele by byla v případě  $w_1 - 0,75$ ;  $w_2 - 0,67$ ;  $w_3 - 0,7$  a  $w_4 - 0,69$  respektive 0, 68.

Tab. č. 12 Složení jednotlivých receptur na 1 m<sup>3</sup>

Materiál [ kg ]	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6
% obsah RA	0	10	20	30	40	50
Cement	323	323	323	323	323	323
Jemně mletý vápenec	248	248	248	248	248	248
Kamenivo frakce 0 - 4 mm	1429	1286	1143	1001	858	715
Betonový recyklát (RA)	-	129	258	387	516	645
Voda	253	262	270	279	287	296
Superplastifikátor (SP)	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21

Tab. č. 13 Složení jednotlivých receptur na 2l

Materiál [ g ]	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6
% obsah RA	0	10	20	30	40	50
Cement	650	650	650	650	650	650
Jemně mletý vápenec	500	500	500	500	500	500
Kamenivo frakce 0 - 4 mm	2878	2590,2	2302,4	2014,6	1726,8	1439
Betonový recyklát (RA)	-	259,9	519,8	779,6	1039,5	1299,4
Voda	487,5	487,5	487,5	487,5	487,5	487,5
Superplastifikátor (SP)	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45
Extra voda *	25,3	42,3	59,2	76,2	93,2	110,1
Celková voda	512,8	529,8	546,7	563,7	580,7	597,6

\*Voda pro nasáknutí betonového recyklátu respektive kameniva

Tab. č. 14 Varianty výpočtu vodního součinitele

Materiály [ kg ]	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6
% obsah RA	0	10	20	30	40	50
Cement	323,0	323,0	323,0	323,0	323,0	323,0
Jemně mletý vápenec (LP)	248,0	248,0	248,0	248,0	248,0	248,0
Kamenivo frakce 0 - 4 mm (2,63% podílů pod 0,125 mm)	1429,0	1286,0	1143,0	1001,0	858,0	715,0
Betonový recyklát (RA) (16,93% podílů pod 0,125 mm)	0,0	129,0	258,0	387,0	516,0	645,0
Voda	242,0	242,0	242,0	242,0	242,0	242,0
Voda pro nasáknutí kameniva frakce 0 - 4 mm	12,6	11,3	10,1	8,8	7,6	6,3
Voda pro nasáknutí betonového recyklátu	0,0	9,7	19,4	29,0	38,7	48,4
Voda pro nasáknutí kameniva celkem	12,6	21,0	29,4	37,8	46,3	54,7
<b>Celková voda</b>	<b>254,6</b>	<b>263,0</b>	<b>271,4</b>	<b>279,8</b>	<b>288,3</b>	<b>296,7</b>
Jemné podíly do 0,125 mm v kamenivu	37,6	33,8	30,1	26,3	22,6	18,8
Jemné podíly do 0,125 mm v recyklátu	0,0	21,8	43,7	65,5	87,4	109,2
<b>Jemné podíly do 0,125 mm celkem (D)</b>	<b>37,6</b>	<b>55,7</b>	<b>73,7</b>	<b>91,8</b>	<b>109,9</b>	<b>128,0</b>
% jemných podílů do 0,125 mm celkem	2,6	3,9	5,3	6,6	8,0	9,4
w1 celková voda/cem	0,79	0,81	0,84	0,87	0,89	0,92
<b>w2 celková voda/cem+0,15 LP</b>	<b>0,71</b>	<b>0,73</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>	<b>0,82</b>
w3 celková voda/cem+0,10 LP	0,73	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85
w4 celková voda/cem+ 0,10 LP + 0,05 D	0,73	0,75	0,77	0,79	0,82	0,84

## **7 ZKUŠEBNÍ VZORKY**

### **7.1 METODIKA PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES**

Dle jednotlivých receptur byly odváženy vstupní suroviny pro výrobu cementového samozhutnitelného potěru. Pro míchání receptur byl stanovený jednotný postup míchání, aby vlastnosti receptur nebyly ovlivněny nerovnoměrným promísením jednotlivých surovin. Postup míchání je následující:

1. 0 až 30 sekund: mísení cementu a jemně mletého vápence při rychlosti 1
2. Ve 30 sekundách: přidání vody s rozmíchanou superplastifikační přísadou
3. V 1 minutě: zastavení mísení, otření stěn nádoby
4. V 1,5 minutě: mísení při rychlosti 1
5. Ve 2 minutách: přidání kameniva, přechod na rychlost 2
6. Ve 3 minutách: zastavení mísení, očištění stěn nádoby
7. Ve 4 minutách: mísení při rychlosti 2
8. V 6 minutách: konec mísení

Pro experimentální část bylo vytvořeno 72 trámečků (40 x 40 x 160 mm) a 6 trámečků (150 x 150 x 50 mm). Všechny zkušební vzorky byly připraveny bez zhutnění a odformovány po  $24 \pm 2$  hodinách. Vzorky byly uloženy v klimatizované komoře, se stálou teplotou 23,7°C a relativní vlhkostí 98% do doby než na nich byly prováděny zkoušky. Z každé receptury bylo vytvořeno 6 trámečků přímo po zamíchání směsi a 6 po provedení zkoušky na dobu zpracovatelnosti. Trámečky byly po 28 dnech rozřezány na zkušební vzorky pro testování obrusnosti metodou Böhme. Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku byly provedeny po 3 a 28 dnech. Dále byla zjištěna i objemová hmotnost zatvrdlého potěru.

## 8 VYHODNOCENÍ PROVÁDĚNÝCH ZKOUŠKY

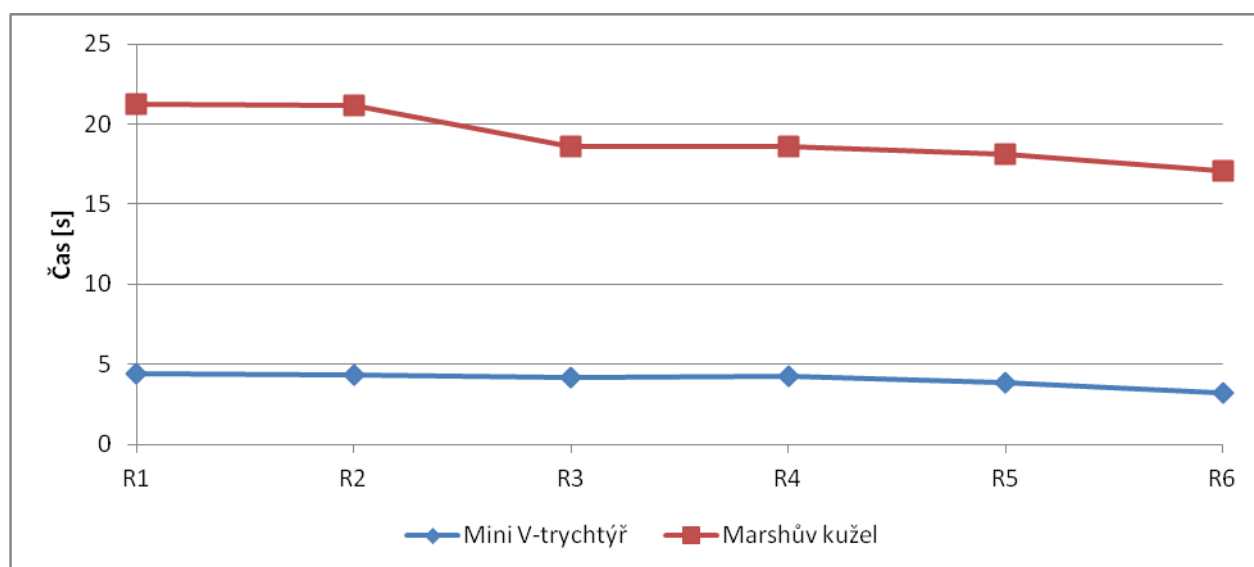
### 8.1 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK PROVÁDĚNÝCH NA ČERSTVÉM POTĚRU

Tab. č. 15 Výsledky zkoušek čerstvého potěru

	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Rozlití kužele [mm]	Mini V- trychtýř [s]	Marshův kužel [s]	Doba zpracovatelnosti [min]
Receptura 1	2210	247	4,41	21,25	75
Receptura 2	2200	242	4,31	21,20	60
Receptura 3	2180	257	4,19	18,65	60
Receptura 4	2160	241	4,28	18,55	40
Receptura 5	2150	254	3,82	18,10	40
Receptura 6	2130	249	3,19	17,05	40

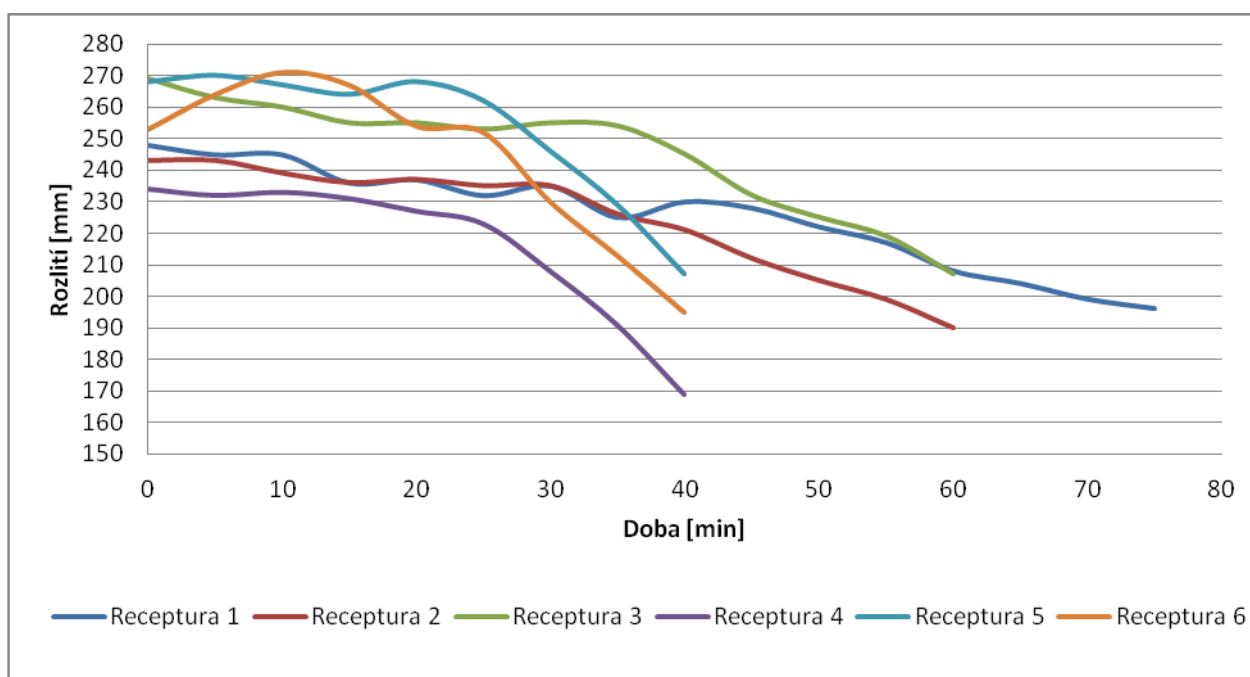
Test rozlití kužele prokázal, že recyklované kamenivo nemá negativní vliv na tekutost SCP. Hodnoty testu rozlití kužele se pohybovaly v rozmezí od 241 to 257 mm (viz. Tab. č. 15).

Graf č. 2: Grafické vyhodnocení zkoušky pomocí Mini V – trychtýře a Marshova kužele



Zvyšující se tekutost směsi byla prokázána snižujícím se časem při zkouškách pomocí mini V-trychtýře a Marshova kužele. Jemné podíly recyklátu přispívají ke zlepšení vlastností čerstvého potěru. Vizualní kontrolou nebyla zjištěna segregace ani odměšování cementového tmele od kameniva. Vysoký podíl jemných částic obsažených v betonovém recyklátu velice pozitivně působí na tekutost a robustnost směsi.

Graf č. 3: Grafické znázornění poklesu tekutosti směsi při stanovení doby zpracovatelnosti



Rostoucí obsah betonového recyklátu snižuje dobu zpracovatelnosti. Referenční receptura 1 s 0 % recyklátu má dobu zpracovatelnosti 75 minut. Receptura 2 a 3 dosahuje dobré zpracovatelnosti po dobu 60-ti minut což je stále dostačující. Obsah recyklátu nad 20 % rapidně snižuje dobu zpracovatelnosti a urychluje tuhnutí a tvrdnutí směsi. Důvodem rychlého zvyšování viskozity směsi může být postupné nasakování betonového recyklátu a tím odebráním vody z cementového tmele. Pro prodloužení doby zpracovatelnosti mohou být použity přísady na regulaci tuhnutí směsi.

Obsah vzduchu v čerstvé směsi je 2,5 %. Na obsah vzduchu byla testována pouze Receptura č.1. Superplastifikační přísada nemá tendenci provzdušňovat čerstvý potěr.

Při ukládání směsi má vzduch obsažený ve směsi tendence stoupat k povrchu a vytvořit tak vrstvičku složenou s cementové kaše a bublinek vzduchu. Tato vrstva má velice nízkou pevnost a má nízkou odolnost proti obrušování. Odstranění této vrstvy pomocí hladítek přispěje ke zpevnění povrchu a snížení možnosti pronikání škodlivých látek do potěru.



## 8.2 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK PROVÁDĚNÝCH NA ZTVRDLÉM POTĚRU

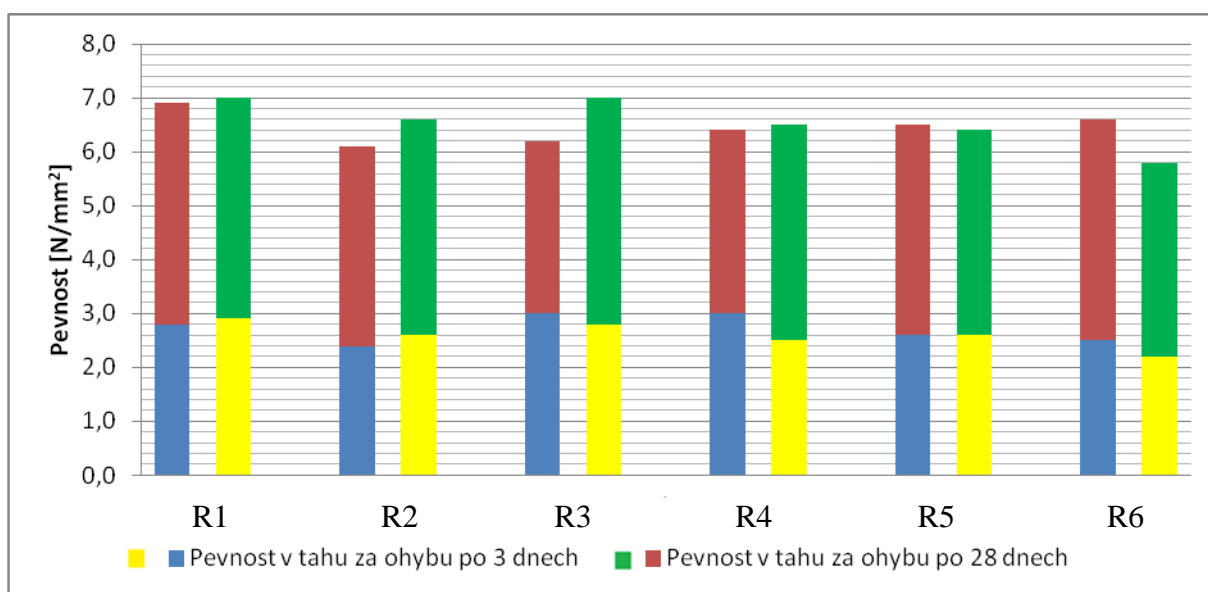
Tab. č. 16 Pevnosti potěru

	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]		Pevnost v tahu za ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]		Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	
	3dny	28dnů	3 dny	28 dnů	3 dny	28 dnů
Receptura 1	2160	2180	2,8	6,9	10,3	34,9
Receptura 2	2180	2180	2,4	6,1	8,9	36,9
Receptura 3	2140	2140	3,0	6,2	9,4	32,9
Receptura 4	2110	2110	3,0	6,4	8,0	31,2
Receptura 5	2110	2110	2,6	6,5	8,1	30,9
Receptura 6	2110	2120	2,5	6,6	8,1	32,7

Tab. č. 17 Pevnosti po provedení testu na dobu zpracovatelnosti

	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]		Pevnost v tahu za ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]		Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	
	3dny	28dní	3 dny	28 dní	3 dny	28 dní
Receptura 1	2070	2080	2,9	7,0	9,5	31,7
Receptura 2	2090	2060	2,6	6,6	8,9	29,4
Receptura 3	2030	2030	2,8	7,0	8,1	29,1
Receptura 4	2030	2020	2,5	6,5	7,7	28,2
Receptura 5	2040	2040	2,6	6,4	7,4	28,2
Receptura 6	2070	2070	2,2	5,8	7,2	25,6

Obr. č. 11: Porovnání pevností v tahu za ohybu



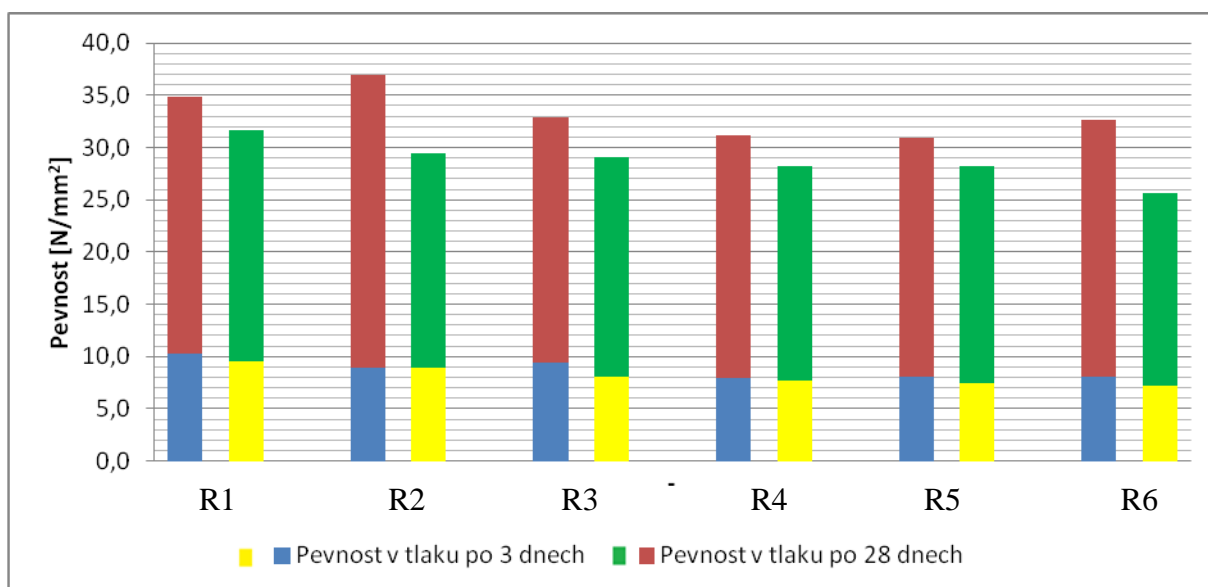
Červeno-modré sloupce zobrazují směs, která byla zaformovaná přímo po zamíchání směsi

Zeleno-žluté sloupce zobrazují směs, která byla zaformovaná po zkoušce na dobu zpracovatelnosti

Pevnost v tahu za ohybu měla nejvyšší referenční směs s nulovým obsahem betonového recyklátu. U receptur obsahující betonový recyklát pevnost v tahu za ohybu rostla se zvyšujícím se procentem náhrady kameniva recyklátem. Zvyšující se obsah jemných podílů ve směsi zvyšuje množství cementového tmele a tím lepší stmelení kameniva. Další možností je i tvar zrn recyklátu, které mají větší povrch a jsou ostrohranné, což zaručuje lepší spojení s cementovým tmelem než kulaté zrna těžného kameniva.

Při porovnání pevností v tahu za ohybu sady vzorků zaformovaných po namíchání a sady, na které byl prováděn test zpracovatelnosti, byl zjištěn pokles pevnosti o 10% u receptury 6, v ostatních případech pevnosti zůstaly srovnatelné nebo se dokonce zvýšily.

Obr. č. 12: Porovnání pevností v tlaku



Červeno-modré sloupce zobrazují směs, která byla zaformovaná přímo po zamíchání směsi  
Zeleno-žluté sloupce zobrazují směs, která byla zaformovaná po zkoušce na dobu zpracovatelnosti

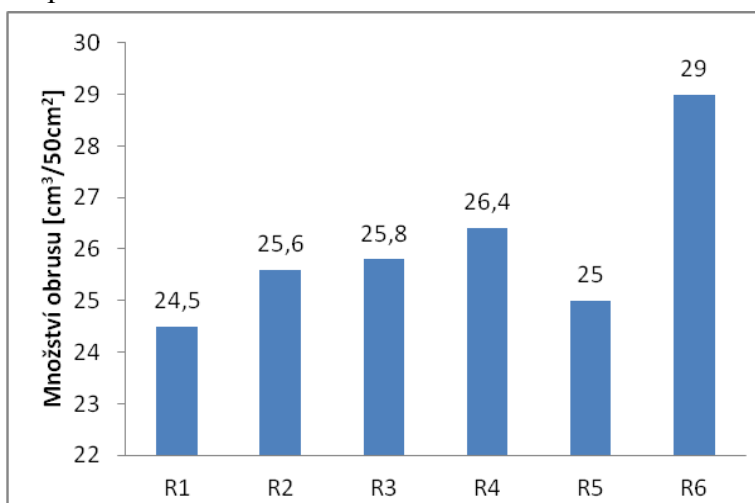
Minimální požadovaná pevnost v tlaku byla 20 N/mm<sup>2</sup>, tento požadavek splnily všechny receptury. Pevnost v tlaku klesala se zvyšující se náhradou kameniva betonovým recyklátem, jedinou výjimkou je zvýšení pevnosti v případě přídavku 50-ti % recyklátu (Receptura 6). Pevnost směsi s 50-ti % náhradou kameniva recyklátem dosahuje pevnosti 32,7 N/mm<sup>2</sup> což je srovnatelné s pevností 32,9 N/mm<sup>2</sup> u směsi obsahující 20% recyklátu. Je možné, že vyšší obsah jemných podílů zvýší hutnost cementového tmele, který pak získá vyšší pevnost. Tato

domněnka nebyla dále ověřována a může být předmětem dalšího výzkumu v oblasti užití betonového recyklátu frakce 0 – 4 mm.

Při porovnání pevností v tlaku sady vzorků zaformovaných po namíchání a sady, na které byl prováděn test zpracovatelnosti, byl zjištěn pokles pevností o 10% u všech receptur kromě receptury 2 a 6 kde pokles pevnosti činil 20 %. Tento pokles pevností je zřejmě způsoben rozrušováním vznikajících krystalů při tunutí cementu a tím narušena vnitřní struktura ztvrdlého cementu.

Tab. č. 18 (Graf č. 4) Stanovení odolnosti proti obruš metodou Böhme

	Množství obruš [cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ]
Receptura 1	24,5
Receptura 2	25,6
Receptura 3	25,8
Receptura 4	26,4
Receptura 5	25,0
Receptura 6	29,0



Ani jedna receptura nevyhověla při zkoušce odolnosti proti obruš kde maximální povolená hodnota je 22 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>. Tento fakt může být způsoben nízkou pevností recyklovaného kameniva. V případě Receptury 1 je výsledek zpochybnitelný, protože obsahoval pouze přírodní kamenivo, a proto by bylo vhodné zkoušku obruš zopakovat. Vysoká míra obrušnosti může být snížena uhlazením povrchu potěru při ukládání. Pomocí hladítek se odstraní tenká provzdušněná vrstva a povrch bude pevnější. Pokud by ani uhlazení povrchu nezvýšilo odolnost proti obruš, není vhodné užití této vrstvy jako finální a je vhodné ji dokončit nášlapnou vrstvou.

Obr. č. 13: Zkušební vzorky a provádění zkoušky pevnosti v tlaku



## 9 ZÁVĚR

Unifikací frakcí recyklátu by se mohlo docílit rozšíření jeho užití. Jelikož frakce recyklovaného kameniva nejsou ustálené a často se jedná o široké frakce např. 0-8, 0-12, 0-16, 8-32 a 8-63 mm, je jejich využití značně omezeno. Zavedení jednotného třídícího systému pro všechny recyklační linky by mohlo vést ke zvýšení procenta náhrady přírodního kameniva recyklátem. Optimální by byly frakce 0-4, 4-8, 8-16 a 16-32 mm. Při důkladnějším roztržení betonového recyklátu na užší frakce vzrůstá potenciální možnost jeho využití při částečné náhradě přírodního kameniva při výrobě betonu. Dále je nutno brát v úvahu i cenu recyklátu. Při třídění na užší frakce je proces třídění delší a tříděč musí obsahovat více sít. To může vést ke zvýšení cen v porovnání se současnými. Pro stanovení ceny užších frakcí recyklátu by bylo nutno propočítat navýšení nákladů pro jejich výrobu. Dle mého názoru, cena recyklátu bude stále nižší než cena přírodního kameniva.

Surovinou pro výrobu cementového samozhutnitelného potěru byla také frakce recyklátu 0-4 mm, která se v současné době netřídí. Cílem této práce není jen prokázat možnosti náhrady přírodního kameniva recyklátem, ale také dokázat, že recyklované kamenivo frakce 0-4 mm má praktické využití.

Všechny receptury prokázaly samozhutnitelné vlastnosti bez negativních jevů segregace a rozměšování. Navržené receptury mají velice dobré vlastnosti v čerstvém stavu. Jediné zhoršení vlastností přidavkem betonového recyklátu bylo pozorováno při době zpracovatelnosti. Tento fakt lze řešit přidavkem vhodného zpomalovače tuhnutí a tvrdnutí.

Zkoušky na zatvrdlém SCP prokázaly, že i při náhradě 50 % kameniva betonovým recyklátem pevnost CFS vyhoví. Pevnosti v tlaku i tahu za ohybu ztvrdlého potěru byly velice dobré u všech receptur. Na základě těchto výsledků můžeme říct, že SCP s částečnou náhradou kameniva betonovým recyklátem může být aplikován do jakýchkoliv prostor. Výsledky zkoušky odolnosti proti obrušování jsou nedostatečné, a proto by bylo vhodné je opakovat a tím potvrdit respektive vyvrátit jejich pravdivost. Pokud by byly potvrzeny, je SCP vhodná jako roznášecí vrstva, na kterou je dále prováděna nášlapná vrstva.

Po zhodnocení všech výsledků prováděných zkoušek bylo stanoveno optimální množství náhrady kameniva betonovým recyklátem na 20 % (Receptura 3). Tato receptura vykazovala dobré vlastnosti jak v čerstvém tak ztvrdlém stavu. Doba zpracovatelnosti byla postačující i bez přidavku zpomalovače tuhnutí. Pevnosti v tlaku i tahu za ohybu byly velice dobré. Maximální přídavek recyklátu se pohybuje od 30 do 35%, při větší náhradě kameniva začne

být povrch nerovný a snižuje estetický vzhled vrstvy. Náhrada kameniva recyklátem snižuje cenu SCP a tím, že je využit stavební odpad z demolic, který by jinak byl uložen na skládku stavebního dopadu, má i kladný ekologický aspekt.

# SEZNAM ZDROJŮ

## Literatura

- [2] PYTLÍK, P., *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*, Nakladatelství VUTIUM, Vysoké učení technické v Brně, 1998, ISBN 80-214-1123-6
- [7] PYTLÍK, P., *Technologie betonu I*, Akademické nakladatelství CERM Brno, květen 1994, ISBN 80-85867-07-9
- [8] MLČOCHOVÁ, V., *Nové poznatky z oblastí recyklace betonů*, Recycling 2006, sborník přednášek 11. ročníku konference, vydalo Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství ve spolupráci s Asociací pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v ČR, březen 2006, ISBN 80-214-3142-3
- [11] Příručka technologa, Beton suroviny-výroba-vlastnosti, 2. aktualizované vydání 2005
- [12] SVOBODA, P., DOLEŽAL, J., *Průmyslové podlahy a podlahy v objektech pozemních staveb*, nakladatelství JAGA, Bratislava 2007, ISBN 978-80-8073-054-0
- [13] SVOBODA, L. a kolektiv, *Stavební hmoty*, nakladatelství JAGA, Bratislava 2007, ISBN 978-80-8076-057-1
- [14] HELA, R., *Technologie betonu I*, studijní opory, vydalo Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2005
- [15] LUKÁŠ, J., BRANDŠTETR, J. a kolegové, *Složení a vlastnosti některých typů vysokohodnotných a samozhutnitelných betonů*, Časopis beton 6/2003

## Internetové zdroje

- [1] [www.arism.cz](http://www.arism.cz), *Strategie v dalším rozvoji recyklace v intencích realizačního programu České republiky pro stavební a demoliční odpady* (otevřeno 1. 4. 2012)
- [4] [http://www.arism.cz/dok/Sbornik\\_RECycling\\_2010.pdf](http://www.arism.cz/dok/Sbornik_RECycling_2010.pdf) (otevřeno 28.4.2012)
- [5] *Nekovový odpad*, [http://etext.czu.cz/img/skripta/64/tf\\_43a-1.pdf](http://etext.czu.cz/img/skripta/64/tf_43a-1.pdf) (otevřeno 1.4.2012)
- [6] VÝBORNÝ, J., *Recyklace betonu*, Waste utilization, recycled materials in the building industry, České učení technické v Praze, Fakulta stavební, Česká republika, [http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3\\_papers/06\\_Vyborny.pdf](http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3_papers/06_Vyborny.pdf) (otevřeno 19.4.2012)

[9] [www.třetiruka.cz](http://www.třetiruka.cz) (otevřeno 1.4.2012)

[10] FIEDLER, J., KOMÍNEK, Z., RACEK, I., RYCHLÍK, V., *Využití asfaltových a betonových recyklátů do vozovek*, Stavby silnic a železnic, a.s.Praha, 2005, [http://www.arasm.cz/dok/sbor\\_rec\\_2005/005\\_Fiedler.pdf](http://www.arasm.cz/dok/sbor_rec_2005/005_Fiedler.pdf) (otevřeno 19.4.2012)

[17] <http://www.lite-smesi.cz/verejnost/priklady/lite-podlahy/> (otevřeno 23. 3. 2012)

[18] [http://www.murexin.cz/upload/ke\\_stazeni/MUREXIN\\_kalciumsulfaty72dpi.pdf](http://www.murexin.cz/upload/ke_stazeni/MUREXIN_kalciumsulfaty72dpi.pdf)  
(otevřeno 22. 3. 2012)

[19] [http://sipek.udeska.info/soubory/doc/prodej\\_soms\\_baumit.doc](http://sipek.udeska.info/soubory/doc/prodej_soms_baumit.doc) (otevřeno 23. 3. 2012)

[26] Hajime Okamura and Masahiro Ouchi, Self-Compacting Concrete, April 2003;

H.J.H. Brouwers \*, H.J. Radix, Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study;

P. Stähli & J. G.M. van Mier, Three-fibre-type hybrid fibre concrete;

H.J.H. Brouwers and H.J. Radix, Self-Compacting Concrete: The role of the particle size distribution

[27] <http://www.arasm.cz/recyklaty.php> (otevřeno 15. 5. 2012)

## **Normy**

[3] Vyhláška č.294/2005 Sb., Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady

[16] ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení, červenec 2008

[20] ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty, prosinec 2007

[21] ČSN EN 13454-2+A1 Pojiva, kompozitní pojiva a průmyslově vyráběné maltové směsi pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – část 2: Zkušební metody, únor 2008

[22] ČSN EN 13892-1 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování zkušebních těles, listopad 2003

[23] ČSN EN 1015-10 + A1 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty, prosinec 2007

[24] ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku, listopad 2003

[25] ČSN EN 13892-3 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Stanovení odolnosti proti ohrusu metodou Böhme, prosinec 2004



## SEZNAM ZKRATEK

SCP	Samozhutnitelný cementový potěr
SP	Superplastifikační přísada
CT	Cementový potěr
CA	Anhydritový potěr
MA	Potěr z hořečnaté maltoviny
AS	Potěr z litého asfaltu
RA	Betonový recyklát
LP	Jemně mletý vápenec